

# **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

**TIAGO MIGUEL PEREIRA OLIVEIRA**

julho de 2018

# **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

**Tiago Miguel Pereira Oliveira**

**2018**

**Relatório realizado no âmbito da unidade curricular de dissertação do**

**Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia**

**Orientação científica: Prof. Doutor Fernando Maurício Dias, [fmd@isep.ipp.pt](mailto:fmd@isep.ipp.pt)**

**Empresa: Schmitt-Elevadores, Lda**

**Supervisão: Dr. Miguel Franco, [m.franco@schmitt-elevadores.com](mailto:m.franco@schmitt-elevadores.com)**

## Agradecimentos

Agradeço aos meus pais e restante família, por me terem dado a oportunidade de seguir o meu sonho no ensino superior pela educação e valores que me transmitiram ao longo da minha vida. Também agradeço à minha namorada Sara, por todo o apoio, força e motivação dada ao longo do meu percurso académico e ao nível pessoal. Sem eles nada disto seria concretizável.

Ao meu orientador e guia Professor Doutor Engenheiro Maurício Dias, um profundo agradecimento, por todas as orientações e conselhos dados, bem como toda a consideração que teve para com a minha pessoa durante a realização deste trabalho.

Ao Dr. Miguel Franco, administrador da Schmitt-Elevadores, um muito obrigado pela orientação dada e pela disponibilização de meios para a realização deste trabalho. Sem a sua ajuda, não seria possível realizar este estudo.

À Schmitt-Elevadores, onde sou colaborador desde 2017, ao engenheiro Alfredo Silva, pela ajuda prestada e pelo fornecimento dos equipamentos de medida para desenvolvimento deste trabalho e aos colegas do serviço de montagem e serviço pós-venda, por partilharem o seu conhecimento e experiência na área de elevadores.

Em último lugar, um agradecimento ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, por me ter dado o conhecimento e as ferramentas necessárias para a minha vida profissional.

**Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

**Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

*"Live as if you were to die tomorrow. Learn as if you were to live forever"*

*Mahatma Gandhi*



## **Resumo**

Na presente tese elabora-se uma análise dos vários tipos de tecnologia subjacente aos elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes existentes no mercado, procurando orientar o estudo no que diz respeito ao processo de certificação energética deste tipo de equipamentos segundo a norma ISO 25745, e nos vários parâmetros que podem influenciar esta classificação, identificando qual a melhor forma de proceder para melhorar a classe de eficiência energética destes equipamentos, tendo em conta as classes mínimas das normas para novas instalações e procurando ao mesmo tempo minimizar o investimento que terá que ser feito para atingir essa meta. Com isto, pretende-se que tanto os donos de instalações deste tipo, como os seus fabricantes, identifiquem quais as componentes que mais podem influenciar a eficiência energética do equipamento de transporte.

De forma a estudar o assunto da certificação energética no transporte vertical, é analisada a norma ISO 25745 de 1 de abril de 2015, que se divide em 3 partes: a Parte 1 (25745-1:2012) relativa à medição do consumo de energia e as restantes Partes 2 e 3 (25745-2:2015 e 25745-3:2015) referentes ao cálculo do desempenho energético de elevadores, escadas e tapetes rolantes. A partir deste referencial, que permite responder completamente ao cálculo do desempenho energético de instalações de elevação de pessoas, foi estudada uma amostra relativa a 145 certificações energéticas de elevadores, elaboradas segundo a metodologia dessa mesma norma de maneira a perceber de uma forma geral o comportamento energético das instalações elevatórias em Portugal.

Posteriormente, são estudadas três hipóteses, propostas por especialistas na área, para aumentar a eficiência energética em elevadores, procurando através de dados energéticos referentes a equipamentos de elevação sujeitos a alterações ou melhorias significativas nos seus elementos constituintes, perceber qual o impacto das intervenções efetuadas, no consumo energético global do equipamento e na sua classe de eficiência energética, com base na norma ISO 25745.

De acordo com a perspetiva anterior, em primeiro lugar, foi então estudada a hipótese de otimização do valor do contrapeso dos elevadores de tração elétrica, segundo o perfil de utilização do edifício. Esta hipótese sugere que, pelo facto do grau de ocupação normal médio da cabina ser muito frequentemente abaixo do valor para o qual o contrapeso está

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

normalmente dimensionado (50 % da carga nominal), justifica a um melhor balanceamento, através da otimização do contrapeso para cargas mais pequenas e desta promover uma maior poupança energética. Para a realização deste estudo, recorreu-se a um elevador de 300 kg, de categoria de utilização 2 e com um contrapeso dimensionado para 65 % da carga nominal, e estudou-se o seu comportamento energético, sem carga, para um contrapeso dimensionado para aproximadamente 50 e 40 % da sua carga, procurando analisar, segundo a norma ISO 25745, as alterações verificadas ao nível da energia diária consumida e na classificação energética do ascensor.

Em segundo lugar, procurou-se estudar a hipótese da melhoria da eficiência energética ao nível do sistema de iluminação da cabina, recorrendo-se para esta análise a seis amostras de elevadores instalados num ambiente hospitalar, para os quais foi dimensionada uma nova iluminação do tipo LED, com base nos requisitos mínimos da norma EN 81:20, e estudando o impacto deste tipo de melhoria no consumo de energia diária e na classificação energética final do elevador.

Em terceiro lugar, e último, foi efetuada uma análise ao impacto que um operador de porta permanentemente alimentado, pode ter na classe e no desempenho energético de um elevador, procurando analisar o caso específico em que o elevador está em repouso.

Quanto às escadas mecânicas, foram acompanhadas algumas auditorias realizadas a este tipo de equipamento em duas estações ferroviárias, com intuito de compreender e explicar os procedimentos subjacentes a este tipo de estudo e proceder à análise do consumo energético deste tipo de equipamento e ao cálculo da respetiva classe de eficiência energética, de maneira a poder enunciar algumas possíveis medidas de eficiência energética para aumentar o seu desempenho energético. No decorrer deste estudo, e como forma de atender à falta de um simulador por parte do SEEP (Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos), destinado à certificação energética de escadas mecânicas e tapetes rolantes, será elaborado um *software* para este tipo de equipamento segundo a metodologia apresentada na Parte 3 da ISO 25745.

**Palavras Chave:** Eficiência Energética, Certificação energética, ISO 25745, Classe de eficiência energética



## **Abstract**

In the present thesis an analysis is made of the various types of technology underlying lifts, escalators and moving walks on the market, seeking to guide the study with regard to the process of energy certification of this type of equipment according to ISO 25745, and in the several parameters that can affect this classification, identifying the best way to improve the energy efficiency class of these equipment, taking into account the standards minimal requirements for classes underlying new installations and at the same time seeking to minimize the investment that will have to be made to achieve this goal. With this, it is intended that both owners and manufacturers of these equipments, identify which components may most affect the energy efficiency of their transport equipment.

In order to study the subject of energy certification in vertical transportation, the ISO 25745 of April 1, 2015, is analyzed concerning its 3 parts: Part 1 (25745-1: 2012) concerns energy measurement and verification and the remaining Parts 2 and 3 (25745-2: 2015 and 25745-3: 2015) helps calculating the energy performance of lifts, escalators and moving walks. Based on this reference, which allows us to fully respond to the calculation of energy performance of people vertical transportation equipment, a sample of 145 energy certifications of innumerable elevators installed in several public spaces and in different areas of the country was studied according to the methodology of this same standard and in order to understand in a general way the energy behavior of lifting installations in Portugal.

Subsequently, three hypotheses, proposed by specialists in the field, to increase energy efficiency in elevators, are studied taking in account energy data related to lifting equipment who suffered changes or significant improvements in their constituent elements, so that it is possible to determine the relative impact of the interventions carried out , in the overall energy consumption of the equipment and consequently in its energy efficiency class, based on ISO 25745.

According to the previous perspective, in first place, the hypothesis of optimization of the counterweight value of electric traction elevators was studied, according to the user category of the building. This hypothesis suggests that because the average normal occupancy rate of the car is very often below the value for which the counterweight is normally sized (50 % of the nominal load), this may justify optimizing the counterweight

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

to lower loads and thus help to promote greater energy savings. In order to carry out this study, we used a 300 kg elevator, of use category 2 and with a counterweight dimensioned at 65 % of the nominal load, and studied its energetic behavior, without load, for a counterweight dimensioned to approximately 50 and 40 % of its load, seeking to analyze, according to ISO 25745, the changes verified in the daily energy consumed and in the energetic classification of the elevator.

Secondly, it was studied the hypothesis of improving energy efficiency through the improvement of cabin lighting system, using for this analysis six samples of elevators installed in a hospital environment, for which a new type of LED lighting system was designed, based on the minimum requirements of standard EN 81:20, and determined the impact of this type of improvement on daily energy consumption and in the final energy rating of the elevator.

Finally, in third place, an analysis was made of the impact that a permanently powered door operator may have on the class and energy performance of an elevator, seeking to analyze the situation when the lift is at rest.

As for mechanical ladders, some audits were carried out on this type of equipment in two railway stations, in order to understand and explain the procedures underlying this type of study and to analyze the energy consumption of this type of equipment and the calculation of the respective class of energy efficiency, in order to be able to enunciate some possible energy efficiency measures to increase its energy performance. In the course of this study, and as a way to meet the lack of a simulator by the SEEP (Product Energy Labeling System), destined to the energy certification of escalators and escalators, a *software* for this type of equipment will be elaborated according to the methodology presented in Part 3 of ISO 25745.

**Keywords:** Energy Efficiency, Energy Certification, ISO 25745, Energy Efficiency Class

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos e âmbito .....	3
1.2	Estrutura da tese .....	4
<b>2</b>	<b>Estado da Arte .....</b>	<b>5</b>
2.1	Problema energético e a Eficiência Energética nos Edifícios.....	5
2.1.1	A Eficiência Energética nas máquinas elétricas .....	6
2.2	Normas para a classificação da eficiência energética nos motores elétricos .....	9
2.3	O transporte vertical nos edifícios .....	13
2.3.1	Ascensor elétrico com roda de aderência .....	17
2.3.2	Ascensor hidráulico .....	22
2.3.3	A Escada mecânica e o Tapete rolante .....	25
2.3.4	Máquinas utilizadas no transporte vertical .....	28
2.3.4.1	Máquina assíncrona.....	28
2.3.4.2	O variador eletrónico de frequência no transporte vertical .....	33
2.3.4.3	Máquina síncrona .....	35
2.3.4.4	Motores de Indução <i>versus</i> Motores Síncronos .....	37
2.3.5	Tecnologia Hidráulica <i>versus</i> Tração Elétrica.....	39
2.3.5.1	Espaço de instalação.....	39
2.3.5.2	Velocidade.....	39
2.4	Eficiência energética no transporte vertical .....	41
2.4.1	O Processo de Certificação Energética no transporte vertical.....	41
2.4.2	A Norma ISO 25745 .....	45
2.4.3	Certificação energética para ascensores segundo a ISO 25745 .....	46
2.4.3.1	Cálculo da energia consumida por dia em viagem.....	46
2.4.3.2	Energia média consumida em viagem por metro ( $E_{rm}$ ).....	47
2.4.3.3	Energia consumida em viagem e parado ( $E_{ssc}$ ).....	47
2.4.3.4	Energia consumida em viagem num ciclo médio com o ascensor em vazio ( $E_{rav}$ ).....	48
2.4.3.5	Energia diariamente consumida em viagens .....	48
2.4.3.6	Tempo diário em modo estacionário/ <i>standby</i> .....	49
2.4.3.7	Relação de tempo no estado estacionário/ <i>standby</i> .....	50
2.4.3.8	Consumo de energia diária no modo estacionário/ <i>standby</i> ( $E_{nr}$ ).....	51
2.4.3.9	Consumo de energia diário e anual total .....	51
2.4.3.10	Classificação de eficiência energética do ascensor .....	51
2.4.3.11	Cálculo do valor de energia específico em viagem para o ciclo referência.....	53
2.4.4	Certificação energética para escadas mecânicas e tapetes rolantes segundo a norma.....	53
2.4.4.1	Cálculo da Energia consumida.....	54
2.4.4.2	Cálculo da Energia consumida em carga .....	56

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

2.4.4.3	Classificação energética de escadas e tapetes rolantes.....	58
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento de simulador para certificação energética de escadas mecânicas e tapetes rolantes.....</b>	<b>63</b>
3.1	Introdução ao simulador .....	63
3.1.1	Resultados do consumo energético.....	70
3.2	Desenvolvimento do simulador e estruturação .....	75
3.3	Validação do simulador .....	82
<b>4</b>	<b>Impacto de medidas de eficiência energética na certificação energética de elevadores .....</b>	<b>85</b>
4.1	Hipóteses de aumento da eficiência energética nos elevadores.....	89
4.1.1	Hipótese 1-Otimização do valor do contrapeso.....	89
4.1.1.1	Análise do Cenário 1 (Contrapeso a 48,5 % da carga nominal) .....	96
4.1.1.2	Análise do Cenário 2 (Contrapeso a 38,1 % da carga nominal) .....	98
4.1.2	Eficiência na Iluminação .....	103
4.1.2.1	Análise ao atual sistema de iluminação de 6 elevadores de um Hospital 103	
4.1.2.2	Substituição de lâmpadas fluorescentes e balastros ferromagnéticos por solução LED .....	106
4.1.3	Impacto da alimentação permanente do motor da porta de cabina.....	115
<b>5</b>	<b>Conclusões e linhas futuras de investigação.....</b>	<b>123</b>

## **Índice de Figuras**

Figura 1-Impacto relativo das diferentes áreas de melhoria de um motor elétrico para com a sua eficiência energética [3] .....	8
Figura 2-Representação em Gráfico das Classes de eficiência de motores segundo a Standard de 1996 [5] .....	10
Figura 3- Gráfico das Classes de eficiência de um motor de 4 polos 50 Hz segundo a IEC 60034-30 (2008) [6] .....	12
Figura 4-Alguns dos tipos de elevadores de tração elétrica existentes [12].....	19
Figura 5-Princípio de funcionamento de um elevador hidráulico [15] .....	23
Figura 6-Alguns tipos de elevadores hidráulicos existentes [12] .....	24
Figura 7-Pormenor do posicionamento entre carris ao longo da escada mecânica .....	27
Figura 8-Constituição de uma escada mecânica [10] .....	27
Figura 9-Gráfico das características binário-velocidade para o caso da variação da velocidade do motor de indução com alteração da resistência rotórica [19].....	31
Figura 10-À esquerda uma Máquina assíncrona de uma velocidade e à direita uma de duas velocidades [21].....	32
Figura 11-Estrutura básica de um inversor de frequência [21]. .....	34
Figura 12-Curvas Velocidade-Binário para um motor de indução ( $f_1 < f_2 < f_3 < f_4 < f_5$ e $f_5 = 50\text{Hz}$ ) [25].....	35
Figura 13-Comparação entre tempo de viagem para o elevador hidráulico e de tração elétrico [11].....	40
Figura 14-Etiquetagem para os diferentes modos de operação do equipamento [29].....	61
Figura 15-Bloqueio da escada mecânica ao público, realizado através da utilização de barreiras .....	64
Figura 16-Pontos de acoplamento existentes para equipamentos de medida, segundo a parte 1 da norma ISO 25745 para as escadas mecânicas e tapetes rolantes .....	65
Figura 17-Quadro de comando da escada mecânica em estudo e respetivos pontos para acoplamento das pontas de prova de tensão (figura do lado esquerdo) e corrente do analisador de energia (figura do lado direito).....	65
Figura 18-Diagrama de carga diário da escada 1 (ascendente) .....	72
Figura 19-Diagrama de carga diário da escada 2 (descendente) .....	73
Figura 20-Menu principal do simulador de cálculo concebido .....	76
Figura 21-Userform inicial, para preenchimento de dados relativos à localização do equipamento e dono do mesmo .....	77
Figura 22-Userform para preenchimento das principais características técnicas do equipamento .....	77
Figura 23-Userform com menu que apresenta as opções do tipo de cálculo que é desejado fazer .....	78
Figura 24-Exemplo de um relatório final para uma certificação energética realizada na aplicação informática.....	78
Figura 25-Fluxograma de processos do simulador.....	81

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Figura 26-Gráfico de distribuição das classes de eficiência energética pela respetiva tecnologia de elevador .....	86
Figura 27-Distribuição dos elevadores da amostra total pela sua velocidade nominal .....	88
Figura 28-Distribuição dos elevadores da amostra total pela sua carga nominal.....	88
Figura 29-Quadro de características principais do elevador utilizado para o estudo da hipótese de otimização do contrapeso .....	90
Figura 30- Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos de referência .....	91
Figura 31-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos curtos	92
Figura 32-Potência ativa obtida pelo analisador de energia para o primeiro minuto no estado standby .....	93
Figura 33-Potência ativa obtida pelo analisador de energia para um minuto no estado Standby 5 minutos .....	94
Figura 34-Potência ativa obtida pelo analisador de energia para três ciclos de referência com uma carga de 195 kg .....	95
Figura 35-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos de referência para o teste de contrapeso a 48,5 % .....	96
Figura 36-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos curtos para o teste de contrapeso a 48,5 % .....	97
Figura 37-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos de referência para o teste do contrapeso a 38,1 % .....	98
Figura 38-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos curtos para o teste de contrapeso a 38,1 % .....	99
Figura 39-Gráfico de Erd, para os três cenários de massa de contrapeso estudados e para as três primeiras categorias de utilização .....	101
Figura 40-Redução necessária em Ed, para que o elevador consiga atingir a classe de eficiência energética imediatamente superior, tendo como base os três cenários realizados e as três primeiras categorias de utilização .....	103
Figura 41-Gráfico representativo do consumo da energia diária do ascensor para a solução de iluminação atual e para a nova solução proposta.....	111
Figura 42-Consumo de energia diária no modo estacionário ou standby para os quatro modos de operação de porta e para as três primeiras categorias de utilização (Enr em Wh) .....	118
Figura 43- Redução necessária em Ed, para que o elevador atinga a classe de eficiência energética imediatamente superior, tendo como base os quatro modos de operação de porta e as três primeiras categorias de utilização.....	119

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1-Limites das diversas classes de eficiência segundo a Standard de 1996 [4] .....	10
Tabela 2-Correspondências entre a IEC 60034-30 (2008) e as outras normas existentes [4] .....	12
Tabela 3-Categorização do número de viagens por dia e usos típicos [28] .....	46
Tabela 4-Valores para a distância média de viagem do ascensor, em percentagem do valor da distância de uma só viagem de sentido único do ciclo de referência, segundo o número de pisos servido e categoria de utilização [28] .....	47
Tabela 5-Cálculo do valor do Fator Carga, kL, segundo o tipo de ascensor e peso do Contrapeso [28] .....	49
Tabela 6-Valores médios de carga do ascensor, de acordo com a carga nominal e categoria de utilização, % Q (valores em percentagem da carga nominal) [28] .....	49
Tabela 7-Relação entre o tempo que o ascensor se encontra no estado estacionário e no modo standby (valores em percentagem [28]) .....	50
Tabela 8-Níveis de desempenho do ascensor em viagem, de acordo com a Energia específica consumida numa viagem do ciclo médio [28] .....	52
Tabela 9-Níveis de desempenho do ascensor no modo standby, de acordo com a potência consumida nesses modos [28] .....	52
Tabela 10-Classe de eficiência energética do ascensor segundo a Energia consumida por dia em Wh [28] .....	53
Tabela 11-Uso típico diário de escadas mecânicas e tapetes rolantes de acordo com o local de instalação [29] .....	54
Tabela 12-Valores típicos para a potência nos modos standby, começo automático, sem carga e a baixa velocidade [29] .....	56
Tabela 13-Valores para a potência referência do equipamento quando este não está com carga, de acordo com o seu tipo (escada mecânica ou tapete rolante), valor de H (altura de subida), inclinação ( $\alpha$ ) e velocidade (v) [29] .....	56
Tabela 14-Valores de referência para as variáveis necessárias para o cálculo da potência referência sem carga [29] .....	59
Tabela 15-Classe de desempenho energético dada em função da relação desempenho energético [29] .....	60
Tabela 16-Valores de referência diários de tempo em horas (h) e energia consumida dos diferentes modos de operação em kW hora por dia (kWh/d) [29] .....	60
Tabela 17-Dados iniciais de entrada para certificação energética da escada mecânica 1 ...	64
Tabela 18-Valores da tensão de alimentação e da corrente obtidos para a escada 1 .....	66
Tabela 19-Valores de potência medidos nos diferentes modos de funcionamento, para a auditoria da escada 1 .....	67
Tabela 20-Valores de potência medidos nos diferentes modos de funcionamento, para a auditoria da escada 2 .....	69
Tabela 21-Resultados obtidos para a certificação energética da escada 2 .....	69
Tabela 22-Resultados obtidos para a certificação energética das escadas 3 e 4 .....	69

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Tabela 23-Monitorização dos tempos despendidos por dia, nos respetivos modos de funcionamento das quatro escadas estudadas .....	70
Tabela 24-Potências consumidas pelas quatro escadas nos respetivos modos de funcionamento (em Watts) .....	70
Tabela 25-Previsão da Energia diariamente consumida pelas quatro escadas nos respetivos modos de funcionamento e na sua totalidade, segundo o modelo teórico da ISO 25745 ...	71
Tabela 26-Energia ativa e reativa diariamente consumida pelas quatro escadas, segundo a monitorização de 24 horas realizada pelo equipamento de medição.....	71
Tabela 27-Valores máximos e médios da $\tan \phi$ , obtidos segundo o aparelho de medição, para 24 horas de monitorização das quatro escadas estudadas.....	74
Tabela 28-Escalões e fatores multiplicativos segundo o Despacho nº 7253/2010 relativamente ao consumo de energia reativa [30] .....	75
Tabela 29-Resultados para a validação do simulador .....	83
Tabela 30-Valores máximos e mínimos de consumos de energia e potência standby para os elevadores em análise .....	86
Tabela 31-Descrição de cenários realizados no estudo da otimização do contrapeso.....	95
Tabela 32-Quadro síntese de resultados obtidos para os diferentes Cenários .....	99
Tabela 33-Resultados obtidos para as variáveis de cálculo da norma ISO 25745 para os três Cenários elaborados e para o caso da categoria de utilização 1,2 e 3 .....	101
Tabela 34-Dimensões das cabinas dos elevadores envolvidos no estudo da modernização do sistema de iluminação.....	104
Tabela 35-Valores obtidos para as variáveis necessárias ao cálculo da classe de eficiência energética do elevador .....	106
Tabela 36-Valores da iluminância obtidos segundo o DIALux para as cabinas com o novo sistema de iluminação.....	107
Tabela 37-Comparação entre o atual sistema de iluminação e o novo sistema do tipo LED para uma amostra.....	109
Tabela 38-Comparação entre o atual sistema de iluminação e o novo sistema do tipo LED para o total das amostras.....	110
Tabela 39-Influência da melhoria do sistema de iluminação atual na classe de eficiência energética das amostras estudadas.....	111
Tabela 40-Entradas para a análise da viabilidade económica da melhoria do sistema de iluminação .....	112
Tabela 41-Resultados para a análise de viabilidade económica do investimento em novas luminárias .....	113
Tabela 42-Valores de corrente obtidos durante as medições efetuadas ao motor da porta de cabina.....	116
Tabela 43-Resultados obtidos para as variáveis de cálculo da norma ISO 25745 para os quatro modos de operação de porta elaborados e para o caso da categoria de utilização 1,2 e 3 .....	118



## **Lista de siglas e acrónimos**

AC-Alternating Current

AC2- Alternating Current, Pole Changing

ACVV- Alternating Current Variable Voltage

ADENE-Agência Nacional para a Energia

CPU - Central Processing Unit

DC-Direct Current

EPAct-Energy Policy Act

IEC-International Electrotechnical Commission

IGBT-Isolated Gate Bipolar Transistor

ISO-International Organization for Standardization

LED- Light-Emitting Diode

MRL-Machine Roomless

NEMA-National Electrical Manufacturers Association

NZEB- Nearly Zero Energy Building

PNAEE-Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PRI-Período de retorno do investimento

PWM-Pulse Width Modulation

RECS-Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

RGEU-Regulamento Geral das Edificações Urbanas

SCE-Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

SEEP-Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos

TIR-Taxa Interna de Rentabilidade

UE-União Europeia

VAL-Valor Atual Líquido

VbA-Visual Basic for application

VDI-Verein Deutscher Ingenieure

VVVF-Variable Voltage Variable Frequency



# **1 Introdução**

Desde 1951 que o Decreto-Lei n.º 38/382 de 7 de Agosto, que diz respeito à aprovação do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), defende os princípios básicos de acessibilidade de pessoas aos edifícios. Segundo o seu Artigo 50, nas edificações para habitação coletiva, quando a altura medida a partir da cota mais baixa das escadas ou rampas de acesso ao interior do edifício, até ao último piso destinado a habitação, exceder 11,5 metros, é obrigatória a instalação de ascensores, dimensionados de acordo com o número de habitantes e com a capacidade mínima de quatro pessoas, devendo servir todos os pisos de acesso aos fogos. Já para o caso das edificações não destinadas à habitação, quando o seu destino assim o justifique, devem ser providas, além de escadas ou rampas, de meios mecânicos de transporte vertical - ascensores, monta-cargas, escadas ou tapetes rolantes em número e com a capacidade que forem necessários, obrigatoriamente servindo todos os pisos acima do terceiro. Os elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes são, hoje em dia e por estes motivos, equipamentos imprescindíveis ao transporte vertical de pessoas e cargas em edifícios.

Com a construção de novos edifícios e a grande aposta verificada na reabilitação urbana em diversas cidades europeias, colocam-se novos desafios aos proprietários dos edifícios e aos fabricantes relativamente aos equipamentos de transporte vertical. Neste capítulo, nos últimos anos, a Schmitt+Sohn elevadores, tem estado ativamente envolvida em vários projetos de reabilitação urbana, tendo sido reconhecida com o prémio nacional de reabilitação urbana, muito motivado pela sua participação na reabilitação de vários edifícios de carácter histórico da cidade do Porto. Em consequência disto, é preciso ter noção que o número de instalações elevatórias tenderá a subir ao longo dos próximos anos, reforçando cada vez mais o impacto deste tipo de equipamentos no consumo energético dos edifícios.

Cada vez mais os custos associados ao consumo de energia elétrica deixam de estar apenas relacionados com a componente financeira e passam a ter em conta os custos ambientais, o que obriga à adoção de novas estratégias que permitam racionalizar os recursos energéticos por maneira a contribuir para um aumento da eficiência energética dos vários processos. A regulamentação internacional, que tem sido elaborada ao longo dos últimos anos, tem

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

reforçado a importância do estabelecimento de novas práticas e comportamentos mais eficientes, através da colocação de novas metas e limites acompanhados por incentivos com o objetivo de diminuir as despesas energéticas no que faz referência essencialmente ao consumo final de energia.

Nos últimos anos, quanto ao que diz respeito aos edifícios, a ADENE (Agência Nacional para a Energia) criou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) que permite conhecer, com algum detalhe, o desempenho energético dos edifícios portugueses, atribuindo uma classe energética para cada um. No entanto, é preciso ter em atenção que, de forma a avaliar com maior rigor o desempenho energético global de cada edifício, é necessário proceder a uma análise relativa aos vários componentes que nele estão inseridos, pois muito frequentemente o edifício em si pode apresentar grande eficiência, mas os seus componentes podem conduzir a um défice desta mesma (eficiência) no global. A partir deste pressuposto, foi criado o Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP) com vista a informar os consumidores sobre o desempenho energético de produtos não abrangidos por normas da Comissão Europeia.

Segundo o projeto E4 - Energy Efficient Elevators and Escalators, liderado pela Universidade de Coimbra, calcula-se que na Europa a 27, terão sido instalados e estarão operacionais cerca de 4,8 milhões de ascensores e 75 000 escadas mecânicas e tapetes rolantes, representando estes equipamentos um total de 3 a 5 % do consumo energético total de um edifício. Com isto, os equipamentos de transporte vertical como elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes, passaram a ser analisados quanto ao seu consumo energético segundo metodologias mais tarde lançadas na norma internacional ISO 25745, baseada na norma alemã VDI 4707, e que permite realizar o processo de classificação e etiquetagem energética destes equipamentos.

De forma a facilitar a determinação da classificação energética para o caso dos ascensores, o SEEP disponibiliza um simulador baseado na parte dois da ISO 25745 para proceder ao cálculo da classe de eficiência energética do elevador. A classe de eficiência energética mínima obrigatória a partir de 31 de Dezembro de 2015, para o caso de elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes a instalar em edifícios de comércio e serviços, segundo a Portaria 17-A/2016 de 4 de fevereiro, é a classe B. Isto obriga os fabricantes a procurar soluções mais eficientes no transporte vertical e a proceder a melhorias nos equipamentos

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

já existentes, para cumprir com a normalização e obter vantagens competitivas face aos seus concorrentes, procurando ir ao encontro com os interesses dos seus clientes, especialmente no que diz respeito à racionalização energética e minimização de custos de operação dos equipamentos.

Os principais componentes sobre os quais os fabricantes na indústria elevatória têm-se focado em otimizar são os redutores, os motores elétricos e os respetivos sistemas de controlo utilizados. Com o aparecimento do novo sistema de classificação de energética de motores elétricos, o IEC 60034-30, objeto de análise neste trabalho, a colocação no mercado de alguns motores menos eficientes é proibida, tendo-se verificado ao longo dos últimos anos um desenvolvimento na área da eficiência energética nas máquinas elétricas e nos sistemas que as controlam. Sendo assim, e tendo em consideração o aspeto relacionado com o rendimento das máquinas, são estudados nesta dissertação os dois tipos de motores mais utilizados nesta indústria: o motor de indução e o motor síncrono de imanes permanentes, bem como os vários métodos utilizados para o controlo da sua velocidade, tendo em conta também as exigências de espaço e de conforto que estes equipamentos de transporte vertical devem ter.

### **1.1 Objetivos e âmbito**

No presente trabalho, pretende-se estudar a eficiência energética associada aos equipamentos de transporte vertical nos edifícios, tendo como referência a norma ISO 25745, que permite responder ao cálculo do desempenho energético de instalações de elevação de pessoas. Segundo este referencial, e apoiando-se em auditorias energéticas realizadas a equipamentos já existentes, procurou-se analisar para o caso dos ascensores, a influência de medidas de eficiência energética como a otimização do valor do contrapeso nos elevadores de tração elétrica, a utilização de tipos de iluminação mais eficientes nas cabinas e a utilização de sistemas de bloqueio de portas que não sejam permanentemente alimentados em elevadores com portas de lâminas automáticas, no consumo energético diário e na classe de eficiência energética final do elevador.

Já para o caso das escadas mecânicas, pretende-se clarificar os procedimentos associados à auditoria deste tipo de equipamento, bem como analisar o seu consumo energético e obter a respetiva classe energética, utilizando como amostra para o estudo, um conjunto de

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

equipamentos já existentes da carteira de manutenção da Schmitt+Sohn. Posteriormente, também aqui se pretende que sejam introduzidas algumas medidas para ajudar a promover o desempenho energético deste equipamento. Adicionalmente, pretende-se que seja elaborada uma aplicação informática, com o objetivo de facilitar o processo de classificação energética de escadas mecânicas e tapetes rolantes e o cálculo do seu consumo energético, com vista a colmatar a falta atual de um simulador deste tipo.

### **1.2 Estrutura da tese**

No presente Capítulo (Capítulo 1), é realizado um breve enquadramento teórico relativo ao estado de arte do trabalho, que faz referência aos diferentes tipos de equipamentos de transporte vertical existentes na atualidade (ascensores de tração elétrica, hidráulicos e escadas mecânicas ou tapetes rolantes).

Já no Capítulo 2, é introduzido o problema energético atual, são abordadas as diferentes tecnologias existentes no transporte vertical, os tipos de máquinas e sistemas de controlo de velocidade existentes, assim como uma introdução à norma ISO 25745, que permite realizar a classificação energética dos mesmos.

Quanto aos Capítulos 3 e 4, estes mesmos são direcionados para o desenvolvimento de uma aplicação informática, que permita realizar a certificação energética de escadas mecânicas e tapetes rolantes, baseada na ISO 25745, e validada segundo dados de quatro escadas mecânicas da carteira de manutenção da Schmitt+Sohn, que foram alvo de auditoria energética. Já o outro objetivo, consiste na análise do impacto que certas medidas de eficiência energética nos elevadores, podem ter na sua classe de eficiência energética, procedendo-se para tal à utilização de alguns elevadores como amostra para realizar um estudo relacionado com a questão do tareamento do contrapeso, eficiência energética da iluminação de cabina e por último, com a utilização de comandos de porta que não sejam permanentemente alimentados. Com esta estruturação, pretende-se atingir conclusões assertivas no Capítulo 5, que permitam compreender a importância subjacente de algumas medidas básicas de eficiência energética nos ascensores e, de certa forma, qualifica-las quanto à sua influência para com a classificação energética do equipamento.

## **2 Estado da Arte**

### **2.1 Problema energético e a Eficiência Energética nos Edifícios**

Até 2020, a Comissão de Energia e Políticas Climáticas da União Europeia estabeleceu o objetivo "20 20 20", que consiste na redução de 20 %, quer na energia consumida, quer nos gases de efeito estufa de acordo com o ano de referência de 1990, assim como o objetivo de servir 20 % do consumo energético do planeta Terra através das energias renováveis.

Segundo a Siemens, os edifícios representam cerca de 41 % do consumo geral de energia primária no planeta, dos quais 35 % são referentes à energia primária gasta nos meios de aquecimento e arrefecimento utilizados nos edifícios, enquanto que os restantes 6 % dizem respeito aos gastos com a energia elétrica maioritariamente na iluminação [1].

De maneira a permitir a redução do consumo de energia nos edifícios, existem hoje em dia normas concebidas para incentivar o desenvolvimento de edifícios com baixo consumo energético, sendo que no futuro prevê-se que este tipo de metodologia se espalhe por toda a Europa. A partir de 2020, os edifícios novos deverão ser *nearly zero energy buildings* (NZEB). A revisão da Diretiva para os edifícios fala num edifício com um desempenho energético muito elevado em que as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas por renováveis. O cenário atual do aumento dos comportamentos associados à poupança e eficiência energética, como forma de reduzir os encargos financeiros e o impacto ambiental associados à exploração dos edifícios, ganha cada vez maior importância na sociedade.

Com o aumento dos requisitos referentes à eficiência energética de edifícios, atinge-se um patamar de exigência bastante elevado em todos os aspetos de consumo energético nos mesmos. Assim, os utilizadores das instalações devem estar sensibilizados para a utilização correta dos seus sistemas e para um comportamento que esteja de acordo com os objetivos estabelecidos.

A aplicação dos conceitos de poupança e eficiência energética aos edifícios são considerados uma mais valia, não só pela sua capacidade na redução de consumos energéticos como também pelo contributo na redução do impacto ambiental no planeta.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Como tal, não será de estranhar que a eficiência energética em equipamentos de transporte vertical passa por ser mais uma preocupação para os fabricantes, tendo-se verificado nestes últimos anos uma tendência para introduzir tecnologias mais eficientes de forma a usufruir de uma maior vantagem competitiva em relação à concorrência e, ao mesmo tempo, permitir que os seus clientes possam poupar energia e minimizar os seus encargos financeiros associados. Com a crescente urbanização dos territórios e com a limitação do espaço existente para construção de novos edifícios, prevê-se o aumento de problemas de acessibilidade, que apenas poderão ser resolvidos com a utilização de ascensores que facilitem a mobilidade e que serão cada vez mais comuns.

### **2.1.1 A Eficiência Energética nas máquinas elétricas**

Os motores elétricos, tal como qualquer máquina, apresentam perdas na conversão de energia elétrica em mecânica e, como tal, a razão entre a potência entregue à saída e a absorvida na entrada, denominado rendimento ou eficiência, nunca será 100 %, ou seja, cada kW de potência entregue aos terminais do motor seria convertido em trabalho útil no eixo do motor.

Hoje em dia existem equipamentos que apresentam elevada economia a nível energético, possibilitando uma redução significativa dos custos associados ao seu funcionamento e apresentando vantagens ambientais consideráveis. A maioria das máquinas elétricas tem um rendimento superior a 80 % [2].

O rendimento do motor é definido como o quociente entre a potência mecânica produzida (trabalho) e a potência elétrica consumida.

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{cons}} \quad (2.1)$$

Onde  $\eta$ , corresponde ao rendimento (%),  $P_{mec}$  à potência mecânica útil (W) e  $P_{cons}$  à Potência elétrica consumida (W).

A grande condicionante associada a equipamentos mais eficientes está por vezes no elevado investimento inicial. Apesar disso, há que considerar que uma maior eficiência pode trazer menores custos no consumo de energia elétrica e na redução da manutenção associada à vida útil do equipamento. Como tal, o consumo de energia elétrica ao longo do



## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

ciclo de vida do motor e a sua eficiência energética devem ser fatores a ser analisados cautelosamente [3].

Cerca de 60 % da energia elétrica consumida no setor industrial em Portugal deriva da utilização de motores elétricos, sendo que apenas metade deste valor é transformado em energia útil [4]. É portanto, importante que a indústria do transporte vertical, dependente da utilização de motores elétricos, estude o tipo de máquina que melhor se adapte à função pretendida, principalmente no que diz respeito à sua potência, regime de funcionamento e nível de eficiência, sabendo que neste tipo de ambiente a exigência ao nível conforto dos passageiros é bastante elevada<sup>1</sup> e que este tipo de equipamento de transporte ultrapassa os 25 anos de vida útil, acompanhados de várias manutenções e inspeções periódicas.

Ao nível das perdas relativas à conversão de energia nos motores elétricos, consideram-se:

- Perdas elétricas ou de Joule, resultantes da passagem da corrente elétrica pela bobinagem do motor, libertando energia sob a forma de calor;
- Perdas no ferro ou magnéticas nas laminações do núcleo, devido a histerese e correntes de Foucault;
- Perdas mecânicas provocadas pela rotação das partes moveis da máquina, ventilação e atrito do ar;
- Perdas parasitas devida a fugas e às imperfeições na distribuição dos fluxos magnéticos e de corrente.

Ao longo dos anos, vários estudos permitiram conhecer e quantificar os vários tipos de perdas existentes nos motores elétricos, tornando-se assim possível identificar as áreas de intervenção mais relevantes para agir de forma a melhorar o rendimento dos mesmos, criando soluções que possibilitem a melhoria da sua eficiência. É a partir daqui que surgem os denominados *motores de alto rendimento* ou de *perdas reduzidas* com o objetivo de incentivar à prática de comportamentos mais sustentáveis na área de máquinas elétricas, promovendo a redução do impacto ambiental provocado por este setor.

---

<sup>1</sup>Para os elevadores, o ciclo destes motores deve contemplar uma fase de aceleração, outra de velocidade constante e uma fase de desaceleração na aproximação ao piso de destino, de forma a garantir que os passageiros tenham uma viagem suave.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Em 2008, uma investigação que fazia referência à melhoria da eficiência energética de motores elétricos, conseguiu identificar as áreas que mais impacto têm na eficiência do mesmo, assinalando assim pontos para melhoria no futuro [3].

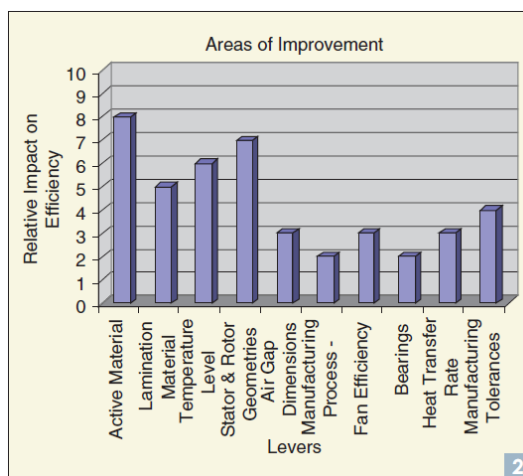


Figura 1-Impacto relativo das diferentes áreas de melhoria de um motor elétrico para com a sua eficiência energética [3]

Segundo os resultados desta investigação, foi possível concluir que grande parte da falta de eficiência dos motores elétricos está associada aos materiais construtivos que os constituem, temperaturas altas e geometria do estator e rotor.

Para atenuar as perdas elétricas, o construtor deve optar pela escolha de materiais de baixa resistividade, tentar limitar o comprimento dos condutores e aumentar a sua seção e limitar a intensidade da corrente. Já relativamente à redução de perdas magnéticas, sugere-se que esta pode ser conseguida através da escolha de materiais com boas características ferromagnéticas, com elevada resistividade (ferro com 3 % de silício) e laminação dos núcleos ferromagnéticos (lâminas finas e isoladas entre si)<sup>2</sup>. Por último, quanto às perdas mecânicas, por estas advirem principalmente do atrito nos apoios e rolamentos, das perdas por arrastamento (derivadas ao facto da rotação de peças moveis provocar arrastamento do meio envolvente (ar), produzindo desta forma um binário resistente) e perdas no ventilador, a solução pode passar por uma boa manutenção ao nível de rolamentos e lubrificação da máquina [2] .

Assim, com base neste tipo de sugestões, muitos fabricantes começaram a aumentar a massa de materiais ativos, de preferência com resistividade baixa como cobre e ferro,

<sup>2</sup>A utilização de rotores de cobre com uma laminação otimizada, pode aumentar a eficiência de 1 a 2 % para motores de pequenas dimensões e até 0,5 % em motores de grandes dimensões, relativamente à utilização de rotores em alumínio [36].

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

procurando ao mesmo tempo limitar o comprimento dos condutores e aumentando a sua secção, de maneira a permitir a diminuição da densidade da corrente nos enrolamentos e das induções, reduzindo desta forma as perdas no cobre e no ferro (perdas de Joule e magnéticas). Além destas mudanças, procedeu-se também à melhoria da geometria dos circuitos laminados e à precisão do entreferro entre o estator e o rotor. Quanto à parte mecânica, estes concentraram a sua atenção na utilização de rolamentos de melhor qualidade e na redução da potência que era absorvida para a ventilação, assim como o nível de ruído que era gerado por esta, deixando para o cliente a responsabilidade pela manutenção periódica das restantes partes móveis da máquina.

Com este tipo de melhorias ao nível da construção dos motores elétricos, verificou-se um aumento do peso destas máquinas na ordem dos 15 % e um aumento de 20 a 25 % do seu custo, este último devendo ter em consideração a melhoria verificada ao nível da eficiência energética (compreendida entre 2 e 4,5 %) e o aumento do fator de potência [4]. Todavia não se deve ignorar o facto de que a eficiência de um sistema não dependerá apenas da eficiência da máquina utilizada, como também de outros componentes do sistema. Cabe então aos projetistas, no dimensionamento do motor, minimizar as várias perdas da máquina, procurando ao mesmo tempo manter um equilíbrio entre a eficiência, dimensão, comodidade e custo inicial do equipamento.

### **2.2 Normas para a classificação da eficiência energética nos motores elétricos**

Em 1998, a Associação Europeia de Fabricantes de Motores Elétricos definiu, de forma voluntária, a existência de três classes de eficiência energética para motores de corrente alternada de baixa tensão com valores de potência nominal de 1,1 a 90 kW, frequência de 50 ou 60 Hz, com 2 e 4 polos magnéticos. Com este acordo todos os fabricantes envolvidos estariam habilitados a colocar etiquetagem relativa à eficiência dos seus motores. Assim, foram consideradas as classes de rendimento EFF1, para Motores de alto rendimento, EFF2 para Motores de rendimento aumentado e EFF3 para Motores sem qualquer requisito especial. Segundo este acordo, a classe de eficiência de um motor era determinada tendo em consideração a potência nominal do equipamento e o seu nível de eficiência, confrontando estes valores com uma tabela, idêntica à Tabela 1 ou um gráfico, onde eram

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

estabelecidos os limites de eficiência do respetivo motor segundo a sua potência nominal e em função do número de pólos.

Tabela 1-Limites das diversas classes de eficiência segundo a Standard de 1996 [4]

kW	EFF3 2 e 4 pólos $\eta_n$ (%)	EFF2 2 e 4 pólos $\eta_n$ (%)	EFF1 2 pólos $\eta_n$ (%)	EFF1 4 pólos $\eta_n$ (%)
1,1	<76,2	$\geq 76,2$	$\geq 82,2$	$\geq 83,8$
1,5	<78,5	$\geq 78,5$	$\geq 84,1$	$\geq 85,0$
2,2	<81,0	$\geq 81,0$	$\geq 85,6$	$\geq 86,4$
3	<82,6	$\geq 82,6$	$\geq 86,7$	$\geq 87,4$
4	<84,2	$\geq 84,2$	$\geq 87,6$	$\geq 88,3$
5,5	<85,7	$\geq 85,7$	$\geq 88,6$	$\geq 89,3$
7,5	<87,0	$\geq 87,0$	$\geq 89,5$	$\geq 90,1$
11	<88,4	$\geq 88,4$	$\geq 90,5$	$\geq 91,0$
15	<89,4	$\geq 89,4$	$\geq 91,3$	$\geq 91,8$
18,5	<90,0	$\geq 90,0$	$\geq 91,8$	$\geq 92,2$
22	<90,5	$\geq 90,5$	$\geq 92,2$	$\geq 92,6$
30	<91,4	$\geq 91,4$	$\geq 92,9$	$\geq 93,2$
37	<92,0	$\geq 92,0$	$\geq 93,3$	$\geq 93,6$
45	<92,5	$\geq 92,5$	$\geq 93,7$	$\geq 93,9$
55	<93,0	$\geq 93,0$	$\geq 94,0$	$\geq 94,2$
75	<93,6	$\geq 93,6$	$\geq 94,6$	$\geq 94,7$
90	<93,9	$\geq 93,9$	$\geq 95,0$	$\geq 95,0$

Assim, partindo da Tabela 1 e segundo esta classificação, um motor de dois pólos com uma potência nominal de 75 kW, correspondia a uma classe de eficiência EFF3, uma vez que o valor da eficiência do motor é inferior ao limite superior da classe (93,6 %). O mesmo resultado podia ser obtido recorrendo ao gráfico da Figura 2, bastando para tal saber localizar o ponto de coordenadas (Potência nominal (abscissa), Eficiência (ordenada)), sabendo que o gráfico reparte-se em três zonas relativas às três classes de eficiência e classificando desta forma o motor.

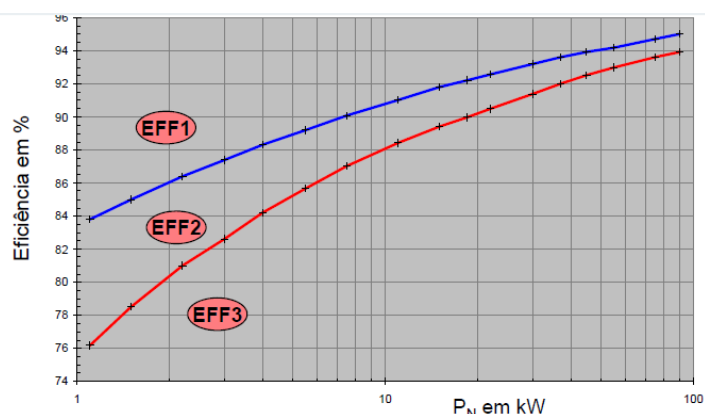


Figura 2-Representação em Gráfico das Classes de eficiência de motores segundo a Standard de 1996 [5]

Mais tarde, com o objetivo de diminuir o consumo energético deste tipo de equipamentos e devido ao facto dos clientes de diferentes países terem grande dificuldade na escolha dos motores, motivada pela falta de consenso entre as várias normas nacionais, a União

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Europeia (UE), através do organismo EU MEPS (European Minimum Energy Performance Standard), definiu um novo regime obrigatório com os níveis mínimos de eficiência dos motores elétricos no mercado, sendo elaborado em 2008 o novo sistema de classificação IEC 60034-30, que viria a contemplar um novo nível de eficiência (o nível Super Premium), motivado pela evolução constante ao nível do rendimento e eficiência do motor elétrico. Esta nova classificação, abrangia os motores de indução trifásicos, de velocidade simples, até 375 kW. Com a entrada em vigor desta norma, todos os fabricantes foram obrigados a apresentar a classe de eficiência do motor na respetiva chapa de características, bem como o método utilizado na sua determinação<sup>3</sup>, este presente na documentação associada à máquina.

Sendo assim, a norma CEI/EN 60034-30:2008 introduziu as seguintes quatro classes de eficiência para motores assíncronos de indução trifásicos com rotor em gaiola de esquilo e de uma velocidade:

- IE1, considerada a classe de Eficiência Standard e que corresponde à classe EFF2 do anterior regulamento Europeu de classificação;
- IE2, considerada a classe de Eficiência Elevada e que corresponde à classe EFF1 do anterior regulamento Europeu de classificação, idêntica à EPAct (Energy Policy Act of 2005)<sup>4</sup> nos EUA para motores de 60Hz;
- IE3, considerada a classe de Eficiência Premium, idêntica ao "NEMA Premium" nos E.U.A<sup>5</sup>. para motores de 60Hz;
- IE4, considerada a classe cujo nível de eficiência é superior a IE3.

Surge então uma nova tabela, apresentada no Anexo 1 e o gráfico da Figura 3, onde podem ser vistos os novos valores limites e classes para a eficiência dos motores, estabelecidos no novo acordo.

---

<sup>3</sup> A norma CEI/EN 60034-2-1, disponível desde setembro de 2007, introduz novas regras relativas aos métodos de teste que devem ser usados na determinação das perdas e da eficiência dos motores elétricos e transpõem o padrão anterior de teste baseados na norma CEI/EN 60034-2:1996.

<sup>4</sup> A Lei de Política Energética e Conservação de 1975 foi promulgada com o objetivo de atender ao consumo de energia dos Estados Unidos da América e promover métodos de racionalização.

<sup>5</sup> As empresas membro da NEMA (National Electrical Manufacturers Association) Motor e Generator Section estabeleceram um programa para a eficiência energética de motores, o NEMA Premium, para fornecer produtos altamente eficientes em termos de energia que atendam às necessidades dos seus compradores e fabricantes, baseando numa definição de "eficiência premium" e o uso do logotipo NEMA Premium para produtos com estas características.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

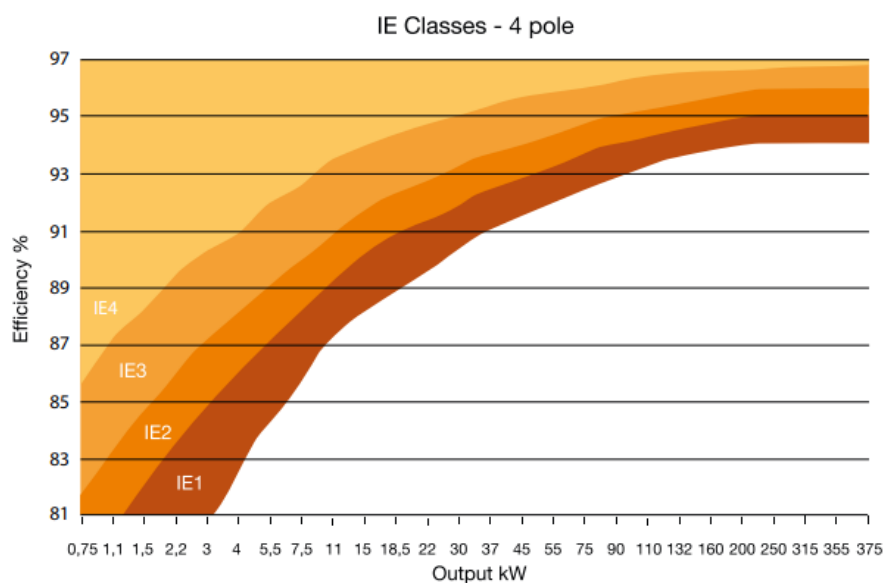


Figura 3- Gráfico das Classes de eficiência de um motor de 4 polos 50 Hz segundo a IEC 60034-30 (2008) [6]

Com a introdução desta nova norma, os países da União Europeia foram obrigados a retirar do mercado todos os motores com nível de eficiência IE1 a partir de 16 de junho de 2011 estabelecendo como mínimo o nível de eficiência IE2 . No entanto, estas regras são apenas aplicadas nos países da União Europeia. Perante este regime, cabe a cada país da UE a verificação do cumprimento destas normas dentro das suas fronteiras [4]. Na Tabela 2 é possível verificar algumas normas na qual o documento internacional de 2008 baseou-se para os diferentes níveis de eficiência concebidos.

Tabela 2-Correspondências entre a IEC 60034-30 (2008) e as outras normas existentes [4]

Nível de eficiência	IEC 60034-30	Correspondência às normas	
	(Ed. 1.0)	50 Hz	60 Hz
<i>Super Premium Efficiency</i>	IE4	Redução de 15 % das perdas relativamente a IE3	
<i>Premium Efficiency</i>	IE3	15 % - 20 % de redução nas perdas relativamente a IE2	US American NEMA Premium
<i>High Efficiency</i>	IE2	CEMEP-EU eff1	US American EPA Act
<i>Standard Efficiency</i>	IE1	CEMEP-EU eff2	Brazilian regulations

Por fim, há que considerar que nem todos os motores estão abrangidos na nova norma internacional. Na tabela presente no Anexo 2, são apresentados todos os tipos de motores que são ou não abordados por esta norma.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

Será então fácil perceber que os motores de alto rendimento serão geralmente mais caros que os de classe de eficiência inferior, devido à forma como o motor é construído e ao tipo de materiais utilizados no seu fabrico que acarreta custos adicionais ao mesmo, mas no entanto, o consumo energético deste tipo de motores facilmente cobre o custo do investimento durante o seu tempo de vida operacional.

### **2.3 O transporte vertical nos edifícios**

O primeiro elevador conhecido foi instalado em 1743 no Palácio de Versalhes por ordem do rei Luís XV, no entanto, a grande evolução da tecnologia utilizada neste meio de transporte, foi devida à revolução industrial, aquando da tentativa de adaptação do motor a vapor. Assim, em 1857 foi instalado em Nova Iorque o primeiro elevador para transporte de pessoas, com um sistema de tração a vapor, num edifício na esquina da Broadway e Broome Street, mantendo-se a tendência da utilização das máquinas a vapor até 1878, ano em que viria a ser instalado o primeiro elevador hidráulico a óleo, no edifício Broadway 155.

Em 1889, seria produzido o primeiro elevador elétrico cujo funcionamento dependia de um motor elétrico com redutor, obtendo-se desta maneira a velocidade linear necessária para o deslocamento da cabina. Este tipo de equipamento era bem mais compacto do que a solução com motor a vapor mas, todavia, não conseguia obter velocidades tão superiores quanto o modelo mais primitivo. Este problema viria a ser ultrapassado mais tarde com a utilização de novos e melhores redutores que permitiam obter velocidades nominais superiores, passando de 0,5 m/s para 2,0 m/s, criando maior interesse neste tipo de equipamento.

Já no ano de 1891 o elevador elétrico viria a passar por novas melhorias no que dizia respeito ao controlo e performance do aparelho por responsabilidade do engenheiro eletrotécnico Harry Ward Leonard, permitindo a utilização de máquinas elétricas de alta velocidade e de velocidade variável que seriam utilizadas até à década 80 do século XX, quando com a introdução dos variadores eletrónicos de frequência nos elevadores de tração elétrica, permitiu aumentar significativamente o conforto de viagem, diminuir o consumo energético do equipamento e garantindo maiores valores de velocidade. Este sistema baseia-se no princípio de que a velocidade do motor de indução está diretamente ligada à

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

frequência da energia elétrica de alimentação aplicada à bobinagem do estator. Variando a frequência e mantendo constante a relação tensão/frequência, a curva velocidade-binário de um motor de indução é deslocada.

Com a utilização deste método de variação de velocidade, descartou-se a necessidade de ter um redutor neste tipo de máquinas, eliminando as perdas que resultavam desse aparelho, aumentando a eficiência global do sistema. Mais tarde, a utilização de motores síncronos de imanes permanentes veio ajudar a aumentar ainda mais a eficiência do elevador [7].

Todas estas evoluções fizeram com que fosse possível não só otimizar o espaço necessário para a instalação do elevador, eliminando a casa das máquinas, por exemplo, como também ajudaram a atingir a classe de eficiência energética mais elevada de acordo com a ISO 25745.

Nos dias de hoje, as empresas responsáveis pelo fabrico deste tipo de equipamentos, já começam a ter em conta aspetos, não só relacionados com a eficiência energética do aparelho, como também o conforto de viagem e até mesmo o *design* dos mesmos, procurando integrá-los ao máximo no ambiente. Nesta dissertação, procurar-se-á incidir essencialmente sobre o problema relacionado com a eficiência energética dos ascensores.

Afastando-nos um pouco à denominação convencional que as pessoas atribuem a um equipamento ascensor, importa ter em consideração a definição mais formalizada que é dada a este tipo de aparelhos. Assim, segundo o Decreto-Lei nº 176/2008 de 26 de agosto, o ascensor pode ser entendido como sendo um “aparelho de elevação destinado a transportar pessoas, pessoas e carga ou unicamente carga, mediante a translação, entre diferentes níveis, de um habitáculo que se desloca ao longo de guias rígidas, cuja inclinação em relação à horizontal é superior a 15°, ou cujo trajeto no espaço é perfeitamente definido, devendo, ainda, no caso de se destinar unicamente a carga, o habitáculo ser acessível à entrada de pelo menos uma pessoa e equipado com comandos situados no seu interior ou ao alcance de qualquer pessoa que nele se encontre” [8].

Segundo dados fornecidos pelo projeto E4 para 19 países da Europa e para o ano de 2010, existiam cerca de 4,5 milhões de ascensores, repartidos maioritariamente pelo setor



## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

residencial com 2,9 milhões, seguidos do setor terciário com 1,4 milhões e do industrial com 180 mil, com um consumo de energia estimado total de 18 TWh por ano [9].

Relativamente ao princípio de funcionamento dos ascensores, apesar de em certos aspetos mais básicos os novos equipamentos poderem ser equiparados aos seus antecedentes, o progresso tecnológico verificado ao longo de vários anos nesta área permitiu adaptar novas técnicas e elementos de suporte que conduziram a melhorias significativas na segurança, conforto e funcionamento deste tipo de equipamentos. Assim, e atendendo às tecnologias que são atualmente utilizadas nos ascensores, pode-se concluir que estes podem ser divididos essencialmente em três tipos:

1. Ascensor hidráulico: cujo princípio de funcionamento baseia-se numa bomba que é alimentada eletricamente e que tem como função bombear um fluído hidráulico para o interior de um cilindro cujo pistão, é responsável por atuar de forma direta ou indireta numa plataforma, de maneira a permitir o seu movimento desejado;
2. Ascensor elétrico de roda de aderência: ascensor em que o princípio de funcionamento baseia-se num conjunto de cabos que, por aderência nos gornes da roda de tração, são movimentados juntamente com um contrapeso de forma a controlar a elevação ou descensão da máquina. Estes cabos são tracionados por um motor elétrico que pode ou não estar equipado com um redutor;
3. Ascensor de tambor de enrolamento: ascensor em que o princípio de funcionamento se baseia num cabo de suspensão cuja ponta se encontra presa no interior de uma roldana tipo tambor, atuada por um motor elétrico, de forma a permitir com que o cabo possa enrolar-se ou desenrolar-se nas guias do tambor, aquando o movimento do ascensor. Existiam alguns tipos de elevadores mais antigos de passageiros e principalmente de cargas, que utilizavam esta tecnologia, mas entretanto foram caindo em desuso, sendo que hoje em dia, este tipo de sistema de acionamento é mais usado em monta pratos. Este tipo de ascensor utiliza um contrapeso para auxiliar a gerar o binário necessário para movimentar a cabina, podendo eventualmente ter dois (um para a cabina e outro para o tambor de enrolamento). Por serem elevadores muito raros em Portugal, não se considerou relevante analisar ao pormenor este tipo de tecnologia no trabalho.

As duas primeiras tecnologias mencionadas anteriormente foram desenvolvidas de forma a cumprir as exigências e requisitos relacionados principalmente com a altura entre o ponto

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

de partida e chegada, o tipo de carga, conforto, segurança e eficiência. Assim, cada uma das tecnologias responderá de forma adequada às funções para as quais foram projetadas. Apesar de tudo, para ambas as tecnologias existem componentes comuns e que farão parte de qualquer aparelho de elevação, entre as quais se podem considerar: a plataforma, as portas, a iluminação, ventilação, motor e controlador. Nos capítulos seguintes serão abordados com maior detalhe os diferentes tipos de equipamentos de elevação existentes na atualidade e o seu princípio de funcionamento.

Quanto às escadas mecânicas e tapetes rolantes, a primeira patente viria a ser registada pelo americano Nathan Ames em 1859, com o nome de "Escada Giratória", sem nunca o seu modelo ter sido transposto para a realidade. No registo efetuado, Ames sugeriu que este tipo de invenção podia ser operado por força manual ou hidráulica e ser usado para auxílio no uso doméstico.

Com isto, só em 1883, o americano Jesse W.Reno, formado em engenharia na Universidade de Lehigh, viria a inventar a primeira escada mecânica, a qual apelidou "elevador inclinado", instalando-a no antigo cais de Coney Island, Nova Iorque em 1896, idealizada para ser uma atração do parque de diversões. Este dispositivo era, no entanto, pouco mais do que um cinto móvel inclinado com lâminas de ferro fundido ou grampos (tipo dente) na superfície, que ajudavam na entrada e saída de passageiros e viajava ao longo de uma inclinação de 25 graus. Para ajudar na estabilidade dos passageiros existia um corrimão que acompanhava o movimento.

Poucos meses depois, este protótipo viria a ser usado numa experiência de um mês na Ponte de Brooklyn e pelo ano de 1898 foi incorporado numa loja chamada Bloomingdale Bros. Mais tarde a sua patente viria a ser comprada por uma conhecida empresa americana de elevadores.

Também em 1892, poucos meses depois de Jesse W.Reno ter aprovado a sua patente, George A.Wheeler patenteou a sua versão da escada mecânica, que viria a servir como base para Charles Seeberger construir o seu modelo de escadas que, no fundo, consistia num sistema com corrimão e degraus semelhantes àqueles que se veem hoje em dia neste equipamento, mas com a diferença de serem lisos, o que não permitia o encaixe de degraus nos extremos da escada para facilitar a entrada e saída dos seus ocupantes, obrigando-os a

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

sair pelas laterais do equipamento. Em 1899, a mesma empresa que comprou a patente de Jesse W. Reno, realizou uma parceria com Seeberger, produzindo em 1899 um modelo da sua escada mecânica comercial que ganhou o primeiro prémio na exposição universal de Paris em 1900, onde também estaria o protótipo de Reno. Mais tarde ambas as ideias seriam combinadas, de forma a construir o modelo atual de escadas mecânicas [10].

Segundo dados fornecidos pelo projeto E4 para 19 países da Europa para o ano de 2010, existiam cerca de 75 mil escadas mecânicas e tapetes rolantes, dos quais 75 % estão instalados em edifícios comerciais e os restantes 25 % em edifícios de transporte público (estações ferroviárias, aeroportos, etc.), com um consumo total estimado de 900 GWh por ano [9].

#### **2.3.1 Ascensor elétrico com roda de aderência**

O ascensor elétrico com roda de aderência, ou de roda de tração, corresponde ao tipo de ascensor mais frequentemente utilizado nos edifícios<sup>6</sup> devido ao facto de não apresentar limitações quanto à distância do curso, velocidade e capacidade de carga pretendida. Por este motivo, facilmente se adaptam às exigências dos seus utilizadores, evitando também algumas despesas que são comuns à manutenção dos elevadores do tipo hidráulico (exemplo das mudanças e verificação do fluído hidráulico).

Este tipo de ascensores apresentam uma gama de velocidades que varia desde 0,25 m/s a 1,7 m/s, com capacidade de carga que pode ir até dez toneladas, para velocidades mais reduzidas [11]. O seu princípio de funcionamento, tal como já foi referido anteriormente, é baseado na suspensão da cabina feita através de cabos de aço revestidos de material sintético ou cintas, tracionados por uma máquina elétrica. De forma a manter a tensão ideal nos cabos, para que estes possam ter aderência suficiente nos gornes da máquina, a cabina é interligada com um contrapeso, dimensionado por norma a ter pelo menos a mesma massa da cabina, acrescida de metade do valor dessa mesma. Este tipo de sistema permite reduzir significativamente o consumo energético da máquina.

---

<sup>6</sup> Cerca de 73 % dos elevadores utilizados no setor residencial e 61 % dos elevadores utilizados no setor terciário são de tração elétrica [9].

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Estes elevadores até há alguns anos eram obrigados a ter uma casa das máquinas<sup>7</sup>, onde era instalada a máquina de tração e o sistema de controlo. Com o passar do tempo surgiram novas soluções com o objetivo de combater a falta de espaço nos edifícios e grande parte dos componentes passaram a ser instalados na parte superior da caixa, mantendo-se apenas a exceção para elevadores com um curso muito elevado, de grandes velocidades ou capacidade de carga. Assim, quanto à localização da casa das máquinas, os elevadores podem-se classificar em:

- Elevadores com casa das máquinas no topo da caixa;
- Elevadores com casa das máquinas em baixo;
- Elevadores sem casa de máquinas.

Dependendo da velocidade, carga e local onde será instalado, existem vários tipos de suspensão utilizados neste tipo de equipamentos. A dimensão do motor terá em conta a forma como esta suspensão é realizada, sendo que é habitual a passagem destes cabos por rodas de desvio e a fixação das suas extremidades à estrutura instalada na caixa. A suspensão da cabina pode ser feita na parte superior ou inferior da arcada, podendo ou não estar presentes rodas de desvio. A arcada é responsável por fornecer meios para guiar a cabina pelas guias da caixa através de roçadeiras e fornecer condições para suspender a cabina, onde são transportadas as pessoas e cargas, constituída essencialmente pelo fundo, teto, porta da cabina e respetivo operador, painéis laterais e botoeira.

Para além das guias de cabina, também o contrapeso necessita de guias que permitam controlar a sua trajetória ou direção dentro da caixa do elevador. As guias utilizam perfis laminados com forma em T e são unidas por fixações, devendo as mesmas ser dimensionadas de forma a suportar os esforços a que a carga na cabina as submete [7].

---

<sup>7</sup> A norma EN 81-1:2000, que estabelecia as regras de segurança para o fabrico e instalação de ascensores elétricos, exigia no ponto 6.1.1 que as máquinas, a sua aparelhagem e rodas deviam de encontrar-se num local que lhes fosse especialmente destinado, com paredes, teto, porta e/ou alçapão cheios e só acessível às pessoas autorizadas (conservação, inspeção e socorro) [48].

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

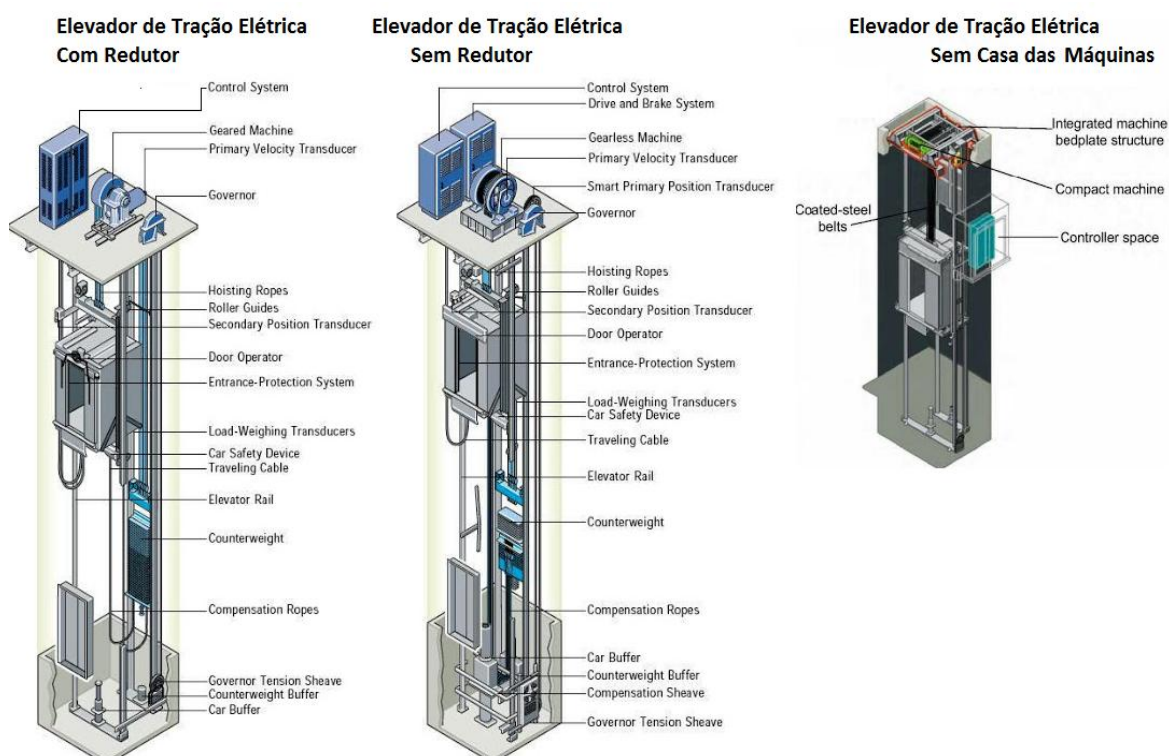


Figura 4-Alguns dos tipos de elevadores de tração elétrica existentes [12]

Por sua vez, o contrapeso encontra-se interligado através da suspensão à cabina. Existem vários tipos de suspensão, dependendo a sua aplicação das condições do local de instalação, da máquina de tração, da carga nominal e da velocidade nominal pretendida. Os tipos de suspensão que podem ser utilizados neste tipo de ascensores são: 1:1 direto ou 2:1 diferencial, de envoltório simples ou duplo.

É de fácil perceção que quanto mais simples for a suspensão (menos rodas de desvio), menor serão as perdas por atrito e maior será a eficiência de todo o sistema, sendo que, segundo o projeto E4 - *Energy Efficient Elevators and Escalators*, deve-se optar por rodas de desvio com rolamentos de esferas em vez de rolamentos de baixa fricção, uma vez que para estes últimos são esperadas perdas próximas dos 10 % para cada desvio. Segundo este último estudo, de acordo com os diferentes modos de suspensão de cabina, é possível afirmar que no caso da suspensão do tipo 1:1, a distância percorrida pela cabina dependerá do perímetro de cada polia para cada ciclo de rotação (a velocidade da cabina e do cabo são idênticas), enquanto que no tipo 2:1, cada polia terá que rodar duas vezes mais de forma a que a cabina percorra a mesma distância que no tipo de suspensão 1:1, ou seja, a velocidade da cabina é metade da do cabo. No entanto, o tipo de suspensão 2:1 apresenta a grande vantagem do motor ter que produzir metade do valor do binário que seria

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

necessário no tipo 1:1, permitindo a utilização de motores com menores dimensões, mas cuja velocidade terá que ser maior de forma a conseguir manter a mesma velocidade do tipo 1:1.

A escolha do tipo de suspensão é feita de acordo com tipo de caixa e restantes condições do local onde se pretende instalar o ascensor. Na Europa, o tipo de suspensão mais habitualmente utilizado é a do tipo 2:1, que requer um motor de menor dimensão para gerar o binário necessário para movimentar a cabina e assim permitir a eliminação da caixa de velocidades. Normalmente é previsto um dispositivo para igualizar a tensão dos cabos de tensão, numa das pontas [9]. Os cabos utilizados na suspensão ou de tração devem ser de aço, correntes de aço de malha paralela (tipo Galle) ou de rolos, capazes de resistir a esforços de extensão, bem como garantir a aderência ou tração necessária (esta dependente do ângulo de ligação entre a roda e o tipo de garganta ou canal desta, designado também por ângulo de abraçamento).

Relativamente ao comando do ascensor, este normalmente consiste num quadro que está localizado ou numa das portas de patamar, ou no caso de existir, na casa das máquinas, sendo este responsável por todo o processamento de informação e pelo estabelecimento da ligação elétrica com a cabina por via de um cabo de manobra preso na mesma e que acompanha o seu movimento, estando este mesmo cabo ligado por sua vez ao quadro de cabina de forma a fornecer energia para os equipamentos da mesma e estabelecer a comunicação com os botões de chamada.

A máquina de tração destes equipamentos encontra-se normalmente localizada na parte superior da caixa do elevador, apoiada sobre um suporte interligado com as guias, ou situada na casa das máquinas, caso o mesmo a tenha, podendo eventualmente por limitações de espaço ser instalada no poço do elevador. O poço está localizado abaixo do nível da última paragem inferior e normalmente é aqui que são instalados os amortecedores da cabina e do contrapeso, que permitem salvaguardar através de uma atuação mecânica, o ascensor e as pessoas no caso deste exceder o seu curso, evitando assim uma colisão descontrolada através da absorção da energia cinética. A norma atual, EN 81-20, que faz referência às regras de segurança para o fabrico e instalação de ascensores para o transporte de pessoas e carga, considera a existência de dois tipos de amortecedores: os amortecedores de acumulação de energia (de características lineares e não lineares) e os de

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

dissipação de energia. De seguida, são consideradas algumas das características técnicas que este tipo de amortecedores deve de obedecer [13].

Quanto aos amortecedores do tipo acumulação de energia lineares, esta mesma norma considera que o curso total possível do amortecedor, deverá ser no mínimo igual a duas vezes a distância de paragem da gravidade, correspondendo a 115 % da velocidade estipulada ( $v$ ), e dada por:

$$\frac{2 \times (1,15v^2)}{2 \times g_n} = 0,135v^2 \quad (2.2)$$

onde  $g_n$  refere-se à aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

O curso é representado em metros e não deverá ser, para estes amortecedores, menor do que 65 milímetros.

Os amortecedores devem também ser dimensionados para cobrir o curso total possível, sob uma carga estática com uma massa entre 2,5 a 4 vezes a soma da massa da cabina com a sua carga nominal (ou a massa do contrapeso).

Já para os amortecedores de acumulação de energia, não lineares, estes devem de obedecer aos seguintes requisitos:

- Perante um choque em queda livre, da cabina com a sua carga nominal (ou apenas do contrapeso), sob o amortecedor, com uma velocidade de 115 % da estipulada, a desaceleração média não deverá ser maior do que 1  $g_n$ ;
- Desacelerações superiores a 2,5  $g_n$ , não devem exceder os 0,04 segundos;
- A velocidade de retorno da cabina ou do contrapeso, não deve exceder 1 m/s;
- Não deve de haver deformação permanente após atuação do amortecedor.

Quanto ao último tipo de amortecedor existente, o de dissipação de energia, para estes o curso total possível do amortecedor em metros, deverá ser no mínimo igual à distância de paragem da gravidade, correspondendo a 115 % da velocidade estipulada ( $v$ ), e dada por  $0,0674v^2$ .

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

Nos casos em que a desaceleração do elevador no final da sua viagem é monitorizada, pode ser considerada a velocidade para a qual a cabina entra em contacto com os amortecedores e não os 115 % da velocidade estipulados. No entanto, o curso não deverá ser menor do que 0,42 metros.

Estes amortecedores devem também cumprir os mesmos requisitos que os amortecedores de acumulação de energia, não lineares.

No caso dos amortecedores hidráulicos, a norma refere que os mesmos devem estar fabricados de forma a ser facilmente monitorizado o seu nível de fluído.

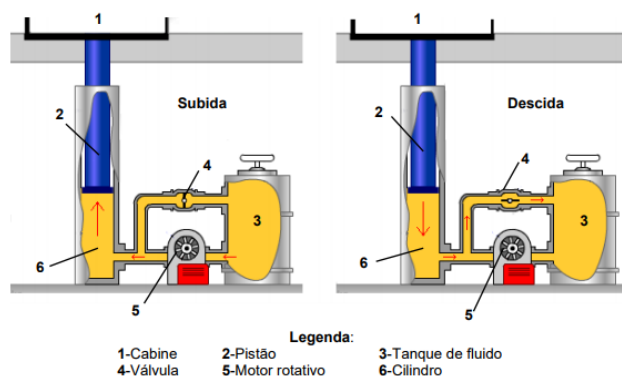
Para além da proteção oferecida pelos amortecedores, existe também uma proteção do tipo elétrico, com o objetivo de evitar a saída do elevador do seu curso normal e que é realizada pelos fins de curso de segurança. Estes dispositivos, deverão estar instalados no elevador e localizados de forma a atuarem e pararem a cabina antes que a mesma, ou o contrapeso, embatam nos amortecedores e, como tal, deverão situar-se tão perto quanto possível dos níveis de paragem extremos, sem contudo provocarem cortes intempestivos.

#### **2.3.2 Ascensor hidráulico**

No ascensor do tipo hidráulico, tal como já foi referido anteriormente, o seu funcionamento é dependente de um cilindro hidráulico enterrado, ou não, no solo, cujo pistão se move verticalmente por via de movimento de um fluído hidráulico (óleo) que é bombeado para o cilindro aquando o movimento de ascensão da cabina e vazado para um reservatório através da abertura de uma válvula, para efetuar o movimento descendente da mesma. Este funcionamento é baseado no princípio de Pascal, que enuncia que "A variação de pressão sofrida por um ponto de um líquido em equilíbrio é transmitida integralmente a todos os pontos do líquido e às paredes do recipiente onde está contido" [14]. Assim, o funcionamento de um elevador hidráulico é baseado na transmissão de pressão feita na coluna de área menor que eleva um objeto sobre a coluna maior.

Quanto aos principais elementos constituintes do elevador hidráulico, estes são: cilindro, pistão, fluído hidráulico, grupo hidráulico (central de bombagem), reservatório, válvulas e sistema de controlo.





*Figura 5-Princípio de funcionamento de um elevador hidráulico [15]*

Na Figura 5 estão representados os dois sentidos que o fluído hidráulico pode ter, quer para o movimento ascendente da cabina (lado esquerdo da figura), quer para o seu movimento descendente (lado direito da figura).

Analisando o esquema relativo ao movimento ascendente da cabina, o motor bombeia o óleo no sentido do reservatório para o cilindro, aumentando a pressão do fluido, o que faz com que este exerça uma pressão elevada no cilindro e por consequência o pistão suba. Durante todo este processo a válvula de controlo mantém-se fechada de maneira a impedir a circulação inversa do fluido.

Já no esquema relativo ao movimento descendente, a válvula de controlo é aberta para que o fluído hidráulico regresse, com a ajuda do peso da cabina, do cilindro para o reservatório, não havendo necessidade do motor estar em funcionamento. Nestes elevadores o controlo da abertura das válvulas é essencial para garantir a precisão da paragem ao piso, o conforto da viagem e um controlo adequado da velocidade.

Quanto ao quadro de comando, grupo hidráulico e válvulas destes elevadores, estes estão numa casa das máquinas ou armário, perto do poço do elevador, e localizados num sítio que permita evitar curvas acentuadas na tubagem do fluído hidráulico.

Relativamente ao tipo de pistão no elevador hidráulico, este pode ser telescópico, de maneira a conseguir servir mais pisos, ou caso a altura não seja condicionante, este poderá ser de troço único.

Já quanto à localização do pistão em relação à cabina, o sistema pode ser classificado de ação direta ou indireta. No caso de ser de ação direta, o pistão está situado na parte inferior

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

da cabina, com cilindro enterrado (*In-Ground*) ou não (*Holeless*). Caso o cilindro seja enterrado é necessário que haja um bom revestimento, de modo a que não existam problemas de corrosão e o risco de fugas de óleo para o solo seja eliminado, uma vez que existe a possibilidade de contaminação. Já no caso dos elevadores de ação indireta, o pistão não está diretamente acoplado à cabina, estando o mesmo situado nas suas laterais e ligado a um sistema que permite suspender a cabina por via de cabos.

Pelo facto de necessitar de algum tempo para realizar as ações que são necessárias fazer com o fluido utilizado, estes elevadores não conseguem garantir velocidades tão elevadas quanto os de tração elétrica (tipicamente 0,63 m/s a 1 m/s), especialmente na fase de subida e, como tal, a sua utilização não é a mais indicada para instalações com grandes requisitos ao nível da velocidade e com grande tráfego. Também torna-se limitativa a utilização desta tecnologia em edifícios muito altos (máximo de 6 a 7 pisos), devido ao facto de ser necessário um cilindro de grandes dimensões e com várias uniões, o que torna este tipo de solução difícil de ser usada em edifícios com mais de 18 metros [9].

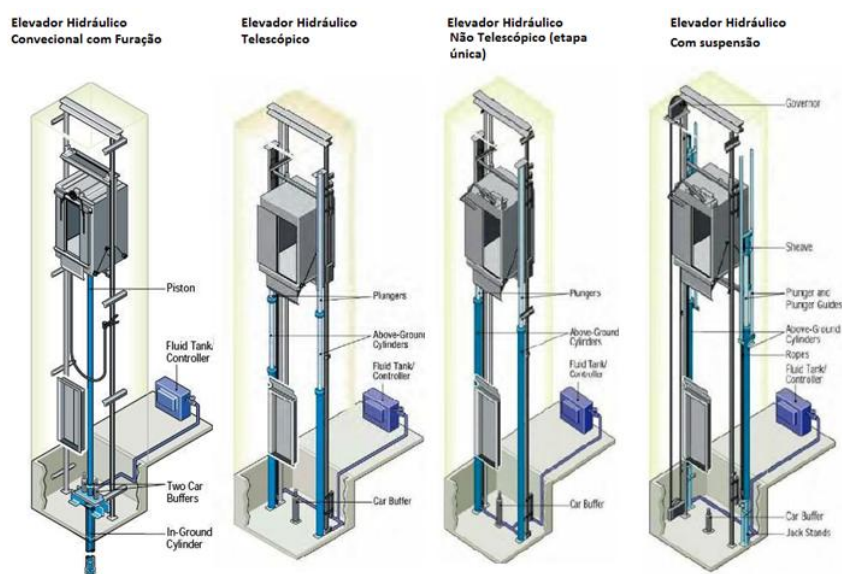


Figura 6-Alguns tipos de elevadores hidráulicos existentes [12]

No entanto é importante referir que este tipo de tecnologia de elevação, apresenta vantagens consideráveis no que concede ao seu custo inicial, relativamente mais baixo, maior simplicidade na instalação do que o de tração elétrica e à sua utilização para a movimentação de cargas pesadas, devido ao facto de não sujeitar a estrutura do edifício a forças tão severas quanto a tecnologia de tração elétrica, sendo apenas necessário um sistema de fundações robusto. Tudo isto permite que o elevador do tipo hidráulico seja o

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

ideal para o caso de remodelações de edifícios antigos, para os quais a sua estrutura original não previa a utilização de transporte vertical.

Até há poucos anos atrás, acreditava-se que este tipo de ascensor seria mais eficiente do que o da tecnologia de tração elétrica, uma teoria que ao longo dos últimos anos foi refutada devido à realização de vários estudos de eficiência energética na área, que consideram parâmetros como a Potência de *Standby*, consumo em viagem e perfil de utilização do ascensor, resultando numa classificação de eficiência do sistema baseada no consumo específico diário. Assim, com base na classificação voluntária da VDI 4707, que serviu de orientação para a norma internacional ISO 25745, foi efetuado um estudo que comprovava que para o caso de edifícios com baixa intensidade de uso (80 % dos casos) e da categoria 1 (máximo de 10 habitações), a diferença entre a eficiência energética do ascensor de Tração Elétrica e o ascensor Hidráulico não é significativa, apenas mudando quando o cenário se trata de edifícios de categoria 3 com grande intensidade de uso, onde os ascensores de tração elétrica, devido ao facto de não estarem tanto tempo em modo *standby*, ultrapassam em termos de eficiência os do tipo hidráulico [11].

Uma outra vantagem associada a este tipo de ascensor é a ausência de contrapeso e de não haver necessidade para reservar o espaço superior da caixa para a máquina ou suspensão, o que permite fazer com que o mesmo se acomode mais facilmente em espaços reduzidos, necessitando de um menor espaço de caixa para acondicionamento do cilindro e pistão, e outros sistemas de controlo. Porém, a eliminação da suspensão por cabos tem como consequência um aumento ao nível do consumo do ascensor, motivado pela necessidade do cilindro ter que suportar todo o peso da cabina, no entanto o movimento descendente da cabina não tem qualquer tipo de consumo energético diretamente associado, uma vez que este depende apenas da abertura de uma válvula para vazamento do fluido hidráulico para o reservatório. É importante referir que durante a descida destes ascensores a temperatura do óleo aumenta, o que obriga a ter em atenção a mudanças na sua viscosidade, necessitando-se muitas vezes de sistemas de controlo de temperatura [16].

#### **2.3.3 A Escada mecânica e o Tapete rolante**

As escadas mecânicas e os tapetes rolantes são caracterizadas principalmente pelo facto de possuírem um movimento contínuo acionado por um motor e pela sua capacidade em

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

permitir o transporte de vários passageiros simultaneamente e com maior fluidez. Estes equipamentos permitem realizar o transporte de pessoas entre dois níveis ou até na horizontal, sendo bastante utilizados em locais como centros comerciais, aeroportos e outros edifícios com grande afluência de pessoas, sendo que por norma os tapetes rolantes são utilizados para auxiliar no transporte de objetos para os quais não exista a possibilidade de o fazer através das escadas mecânicas como carrinhos de compras ou de bebés.

Normalmente as escadas mecânicas operam a uma velocidade nominal de 0,5 m/s a 0,65 m/s, uma vez que esta mesma velocidade permite aliar o conforto e segurança à eficiência do transporte. Já relativamente às inclinações permitidas, as mesmas são de 30°, podendo chegar aos 35° se o desnível for inferior a 6 metros e a velocidade menor que 0,5 m/s. Já para o caso dos tapetes rolantes, estes apresentam velocidades que vão desde 0,5 m/s até 0,75 m/s com inclinação entre os 0 e os 12° [17].

O funcionamento deste tipo de equipamento é relativamente simples de ser explicado. Uma correia envolve uma engrenagem e o veio do motor, enquanto que uma corrente envolve essa mesma engrenagem com uma outra denominada de engrenagem de retorno. À medida que o veio do motor elétrico roda, as correntes movimentam-se, transmitindo movimento aos degraus da escada mecânica, degraus estes que têm dois conjuntos de rodas que se movem em dois carris separados: o conjunto superior circula no carril interno, que se encontra acoplado às correntes e é movimentado pela engrenagem de tração situada na parte superior da escada enquanto que o outro conjunto de rodas circula no carril externo que segue o carril interno e que, ao contrário deste último, não se movimenta, servindo apenas para o conjunto de rodas deslizar.

Todos os degraus têm o mesmo nível e tanto na parte superior como inferior da escada mecânica os degraus encaixam-se de forma a possibilitar uma plataforma plana que facilite a entrada e saída de passageiros do equipamento. A forma como isto acontece deve-se ao posicionamento relativo dos carris e ao facto de cada degrau conter uma série de ranhuras que permite o ajustamento entre degraus.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

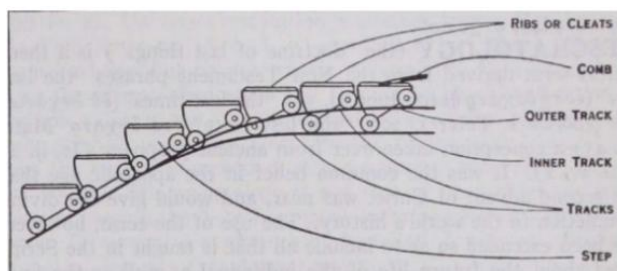


Figura 7-Pormenor do posicionamento entre carris ao longo da escada mecânica

Normalmente estes degraus são sólidos e feitos de alumínio, podendo ou não ter superfície de borracha com o objetivo de reduzir o escorregamento e marcações em amarelo para delimitar cada degrau.

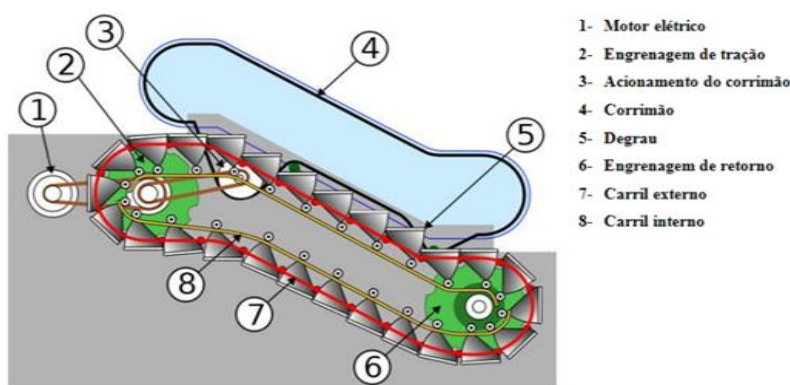


Figura 8-Constituição de uma escada mecânica [10]

A fronteira entre a plataforma estacionária e os degraus é feita através de um elemento vulgarmente chamado de pente. Este elemento é similar a um pente pelo facto de possuir dentes que têm como objetivo encaixar nas ranhuras dos degraus de forma a minimizar a folga entre os mesmos e assim diminuir o risco de entalamento.

De forma a permitir maior conforto e estabilidade dos utilizadores deste tipo de equipamento, por sua vez o motor elétrico movimenta também o corrimão de borracha da escada que acompanha o movimento dos degraus e serve de apoio para os passageiros.

Tal como pode ser observado na Figura 8, os elementos que compõem o motor, engrenagens e correntes encontram-se instalados nos extremos do equipamento, nas estações de tração (parte superior) e de retorno (parte inferior), dentro de estruturas metálicas em cada patamar.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

Já para o caso dos tapetes rolantes, o funcionamento é muito semelhante ao da escada mecânica, tirando o facto de em vez de possuir degraus, estes serem planos e de, para além do transporte de pessoas, conseguirem transportar outro tipo de bens como carrinhos de compras e de bebés podendo assumir dois tipos distintos, horizontais ou inclinados. Além disso, permitem efetuar deslocações com maior rapidez, segurança e conforto sendo totalmente planos. Sendo assim, em termos de funcionamento, estes equipamentos são semelhantes às escadas mecânicas porque ambas as instalações partilham a mesma plataforma.

### **2.3.4 Máquinas utilizadas no transporte vertical**

#### **2.3.4.1 Máquina assíncrona**

Dentro da categoria das máquinas elétricas alimentadas por fontes de corrente alternada, normalmente estas pertencem essencialmente a dois tipos: as máquinas assíncronas, ou de indução, e as máquinas síncronas.

Relativamente ao motor de indução, tal como o nome assim o sugere, o seu princípio de funcionamento baseia-se na criação de um campo magnético rotativo (girante), resultado da excitação do circuito estatórico com corrente alternada, e que por indução no circuito rotórico permite a criação de forças eletromotrizes nesse mesmo, resultando num campo magnético girante criado pelo rotor que tenderá assim a alinhar-se com o campo girante do estator, provocando como consequência o movimento de rotação do rotor. Como a velocidade de rotação do rotor é um pouco inferior à velocidade de rotação do campo girante do estator, não existe sincronismo entre esse campo e o movimento do rotor, resultando assim na definição desta máquina como assíncrona ou de indução. Na máquina de indução as correntes são induzidas no rotor pelo estator por ação de transformação, num funcionamento semelhante ao do transformador [18].

Este tipo de máquina é alimentada por uma fonte de energia elétrica de tensão e frequência constantes e apresentará uma velocidade constante, sendo que a sua velocidade de funcionamento no regime nominal, é muito próxima da velocidade síncrona. Assim sendo, neste tipo de motor, quando é excitado por uma fonte de alimentação polifásica equilibrada, como consequência será produzido um campo magnético girante no entreferro com velocidade de rotação, que dependerá do número de polos do estator e da frequência.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Posteriormente, neste capítulo, serão analisadas de forma mais detalhada, os vários métodos utilizados para controlar a velocidade neste tipo de motor [19].

Neste tipo de máquinas se for verificado um aumento no binário da carga, a velocidade do motor tenderá a decrescer de forma ligeira, sendo o seu binário motor diretamente proporcional ao quadrado da tensão de alimentação. Este tipo de características tornam esta máquina uma das preferidas para aplicações que necessitem velocidade constante.

Quanto à constituição desta máquina, o estator é formado por aço laminado de elevada qualidade com bobinagem trifásica colocada em ranhuras abertas situadas na sua superfície interna, assim como o rotor que também é constituído por material ferromagnético laminado, mas com ranhuras abertas na sua superfície externa.

Existem dois tipos de rotor ou induzido: o rotor em Curto-Circuito (ou Gaiola de esquilo), onde o circuito elétrico polifásico é constituído por um conjunto de barras (geralmente de alumínio, mas podendo também ser de cobre ou de outro condutor alojado nas ranhuras do rotor), curto-circuitadas nas suas extremidades por anéis do mesmo material (cobre ou alumínio) e o rotor do tipo bobinado, cujos enrolamentos são parecidos com os que estão presentes no estator, apresentando anéis coletores e escovas que permitem aceder ao circuito do rotor, possibilitando o controlo da velocidade de rotação do motor, assim como a limitação da corrente de arranque do mesmo através da utilização de resistências variáveis que controlam as correntes conduzidas do rotor para o exterior. A existência de escovas e anéis coletores no motor de rotor bobinado tornam a sua manutenção maior relativamente ao que possui rotor em gaiola de esquilo, tornando este último o mais utilizado atualmente, devido à sua simplicidade e elevada fiabilidade aliada a um custo mais reduzido.

Para o caso dos elevadores, era habitual a utilização deste tipo de máquina com uma só velocidade em edifícios não muito altos, alimentados por uma fonte de tensão e frequência constantes, permitindo assim uma velocidade constante. Todavia esta solução compreendia uma corrente de arranque elevada (4 a 6 vezes a absorvida à plena carga), o que obrigava à utilização do método de arranque estrela-triângulo, onde inicialmente os enrolamentos eram colocados em estrela de forma a obter menor corrente de funcionamento, seguindo-se uma mudança para triângulo aquando a aproximação da velocidade nominal [20]. No

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

entanto, a redução da tensão e corrente absorvida, conseguida neste método, resultam na redução do binário disponível, uma vez que o mesmo é proporcional ao quadrado da tensão da alimentação do motor. Para efetuar a paragem da cabina, a alimentação do ascensor era desligada e acionado simultaneamente o travão da máquina, o que causava paragens bruscas e desniveladas que, por sua vez, traziam desconforto aos ocupantes e grande desgaste do sistema de travões.

O controlo de velocidade deste tipo de máquina, no que diz respeito à sua aplicação às instalações de elevação, é especialmente importante nos dias de hoje para contribuir para o aumento do conforto da viagem dos seus ocupantes, uma vez que um bom controlo desta característica permite diminuir os movimentos bruscos resultantes do arranque e da paragem do equipamento e que provocam grande desconforto. Assim, pode-se considerar que a velocidade do rotor ( $n_r$ ) do motor de indução poderá ser dada em função da seguinte expressão:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad \Rightarrow \quad n_r = (1 - s) * \frac{f}{p} \quad (2.3)$$

onde  $s$  é o deslizamento,  $n_s$  a velocidade síncrona do campo girante,  $n_r$  a velocidade angular de rotação do rotor (em relação ao estator),  $f$  a frequência de alimentação e  $p$  os pares de polos.

Conclui-se então a partir da expressão apresentada anteriormente, que a variação da velocidade do rotor do motor de indução poderá ser conseguida através da alteração de três componentes:

1. Variação do deslizamento ( $s$ ), normalmente conseguida através da variação da resistência rotórica do motor com rotor bobinado, introduzindo uma resistência exterior no circuito, através do sistema de escovas e anéis. Este método apresenta baixo rendimento para velocidades menores devido ao elevado deslizamento verificado nestas condições. A variação da velocidade depende sempre do binário da carga.



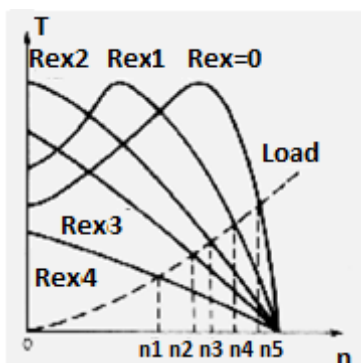


Figura 9-Gráfico das características binário-velocidade para o caso da variação da velocidade do motor de indução com alteração da resistência rotórica [19]

Observando a Figura 9, que representa o gráfico das características binário-velocidade para o caso da variação da velocidade do motor de indução com alteração da resistência rotórica, é possível verificar que perante uma determinada característica  $T(n)$  de carga, representada a tracejado, variando a resistência do rotor  $R_{ex}$  desde zero até ao maior valor de resistência,  $R_{ex4}$ , a velocidade da carga pode ser controlada numa gama de valores de  $n1$  até  $n5$ , correspondendo cada valor de resistência a uma determinada velocidade e a um determinado valor de binário, tornando este tipo de método muito útil no que diz respeito à obtenção do binário de arranque ideal. No caso da Figura 9, seria útil utilizar inicialmente uma resistência rotórica de  $R_{ex2}$ , por forma a conseguir obter um binário de arranque máximo.

2. Variação do número de pares de polos ( $p$ ): dado que a velocidade de funcionamento da máquina é próxima da velocidade de sincronismo, a velocidade do motor pode ser variada pela alteração do número de pares de polos da máquina, que é conseguida alterando as ligações da bobinagem do estator. Este método é muito utilizado no motor de rotor em gaiola de esquilo, pois o rotor pode operar com qualquer número de pares de polos do estator, no entanto apenas permite variar a velocidade em escalões. No caso dos elevadores, a utilização de máquinas com motor assíncrono de duas velocidades permitia ultrapassar o problema do solavanco no arranque e paragem, utilizando para tal motores assíncronos com dois enrolamentos com um número de par de polos diferentes, atuados sequencialmente por contactores, e para os quais o de menor número de pares de polos servia para a grande velocidade e o de maior número de pares de polos para a pequena velocidade ( $1/4$  ou  $1/6$  da velocidade nominal para ser utilizada no arranque ou na paragem

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

do elevador) [20]. Neste caso, a utilização de um volante de inércia permitia atenuar a comutação ocorrida no arranque e na paragem.

Um dos problemas associados a este tipo de máquina consiste no facto do elevado número de rotações e o baixo binário característicos destes motores obrigar à adaptação de redutores sem fim com roda de coroa entre a máquina e a roda de tração, permitindo reduzir a velocidade da cabina através do atrito num sistema de engrenagens.

A travagem do ascensor com este tipo de máquinas era efetuada por duas cintas, controladas eletricamente e que se fechavam quando esta se encontrava em baixa velocidade, ainda em movimento por inércia. Este motor era robusto e de fácil conceção, sendo frequentemente utilizado nos ascensores, conseguindo atingir velocidades nominais até 1,2 m/s, mas, no entanto, o controlo da sua velocidade era limitado, o que criava dificuldade em garantir uma precisão na paragem compatível com a legislação<sup>8</sup>, bem como uma sensação de desconforto na viagem, problemas estes que viriam a ser ultrapassados aquando o surgimento do controlo de velocidade com variador de frequência [20].



*Figura 10-À esquerda uma Máquina assíncrona de uma velocidade e à direita uma de duas velocidades [21]*

3. Controlo pela frequência: a velocidade do motor assíncrono é proporcional à frequência da rede de alimentação. Deste modo, utilizando conversores de frequência é possível alimentar o motor com uma gama alargada de frequências e desse modo obter diferentes velocidades de funcionamento para o motor. Pelo facto de este tipo de controlo de velocidade poder ser utilizado tanto em motores de indução como do tipo síncrono, o método é analisado aparte no capítulo seguinte. Neste método de controlo de velocidade o deslizamento será baixo e o rendimento do motor elevado, uma vez que a velocidade de funcionamento estará muito próxima da correspondente velocidade síncrona.

---

<sup>8</sup> A nova norma EN 81-20, define que a precisão de paragem deve ser  $\pm 10$  milímetros [13].

#### **2.3.4.2 O variador eletrónico de frequência no transporte vertical**

Com a evolução da tecnologia e a entrada em vigor de novas normas e regulamentos que abordam as condições de acessibilidade a edifícios por parte de pessoas com mobilidade reduzida, tal como o Decreto-Lei 163/2006 de 8 de agosto, os ascensores devem garantir precisões de paragem entre o nível do piso da cabina e dos patamares até 0,02 m [22] . O controlo de velocidade com variador eletrónico de frequência permite cumprir estas exigências, que as máquinas com redutor e motor de duas velocidades não conseguiam cumprir, como também ajuda a manter um elevado fator de potência, aumentar a fiabilidade e rendimento do motor devido ao menor desgaste mecânico dos componentes e protege o mesmo contra curtos-circuitos, sobrecargas e sobretensões.

Os variadores normalmente estão instalados no quadro de comando do ascensor e são constituídos essencialmente por circuitos com dispositivos eletrónicos à base de semicondutores, cujo funcionamento baseia-se na retificação da tensão alternada da rede, seguida de uma filtragem e uma posterior conversão, através de um inversor, em tensão com amplitude e frequência variável numa gama de valores que vai de 0 a 50 Hz e que permite controlar de forma gradual a velocidade da máquina.

O inversor é composto essencialmente por quatro blocos:

- Circuito de entrada, composto por díodos, com o objetivo de converter em contínua a tensão alternada (os díodos conduzem quando polarizados diretamente, deixando-se atravessar por corrente nesse sentido e opõem-se à sua passagem caso seja solicitada a passagem de corrente no sentido contrário);
- Circuito intermediário que é constituído por condensadores e circuito de filtragem de alta frequência com o objetivo de suavizar as variações de tensão e contribuir para uma tensão DC de saída fixa;
- Circuito inversor compreendido por 6 transístores de potência denominados IGBT (*isolated gate bipolar transistor*), que são responsáveis pela geração de uma onda sinusoidal a partir da tensão DC que sai do circuito intermediário;
- Circuito de controlo (CPU - Unidade Central de processamento), cujo funcionamento é assegurado por um microprocessador ou por um microcontrolador que controla os

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

disparos dos IGBTs, gera os sinais necessários para o controlo da velocidade e binário do motor e onde são armazenados os dados de parametrização.

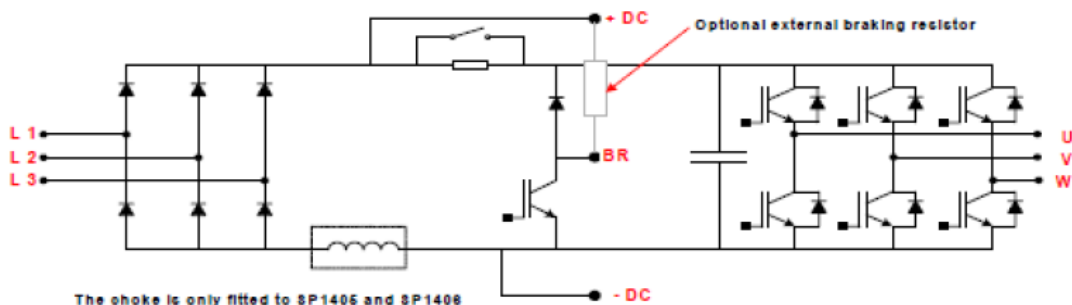


Figura 11-Estrutura básica de um inversor de frequência [21].

Seguindo a lógica apresentada pelo esquema elétrico da Figura 11, pode perceber-se que desde logo num inversor de frequência à entrada da alimentação trifásica da rede pública existe uma retificação da tensão alternada, formando-se de seguida através de um condensador, um circuito intermediário que forma um barramento DC que alimenta 6 IGBTs que são atuados três a três de forma a formar uma tensão alternada<sup>9</sup> nas saídas U, V e W, desfasadas de 120 graus elétricos como no caso da rede pública.

Nos ascensores o variador de frequência regula a tensão e frequência de entrada no motor durante toda a viagem, conseguindo como tal diminuir o consumo de corrente na fase de aceleração e desaceleração do elevador, conseguindo atingir valores de 50 a 80 % aos de outros métodos de controlo de velocidade [24].

A unidade retificadora do variador pode ser unidirecional ou bidirecional, dependendo da capacidade que o mesmo tem em apenas consumir energia da rede ou também aproveitar a energia mecânica do motor para injetar a mesma na rede. Um retificador simples não permite trocas de energia no sentido contrário (do motor para a fonte) e como tal, para este caso, de forma a dissipar a energia regenerativa obtida na travagem do motor, é utilizado um "on-off switch", ou "braking chopper", que permite dissipar toda essa energia numa resistência sob a forma de calor, uma vez que a ação geradora do motor irá causar uma inversão no sentido do fluxo da potência, e a energia cinética do sistema tem de ser "libertada". O circuito de corrente contínua irá armazenar a energia elétrica a partir do

<sup>9</sup> O inversor converte a tensão contínua num sinal modulado por largura de pulso (PWM), sendo a forma da saída pulsada e dependente da frequência de saída solicitada. A análise de Fourier mostra que a saída em tensão pulsada tem o mesmo efeito num motor assíncrono trifásico que uma tensão sinusoidal da mesma amplitude e da mesma frequência [46].

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

retificador para posteriormente ser utilizada pelo inversor. Na maioria dos casos, a energia é armazenada em condensadores de alta potência. O controlador mais utilizado em ascensores atualmente é o sistema VVVF (*Variable Voltage Variable Frequency*), que permite variar a frequência, mantendo a sua relação com a tensão constante, sendo a opção de controlo de velocidade com melhor rendimento e menos dispendiosa, permitindo deslocar a curva velocidade-binário de um motor de indução mantendo um binário-motor constante.

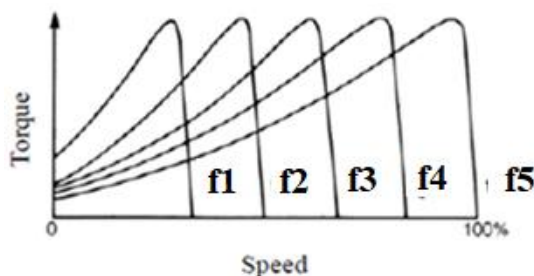


Figura 12-Curvas Velocidade-Binário para um motor de indução ( $f_1 < f_2 < f_3 < f_4 < f_5$  e  $f_5 = 50\text{Hz}$ ) [25]

A Figura 12 faz referência à curva que relaciona o binário e a velocidade de um motor de indução e o deslocamento da mesma com a variação de frequência feita pelo VVVF. Também aqui é possível verificar que um aumento de frequência provoca um deslocamento da curva binário velocidade para a direita, aumentando assim a velocidade do motor de indução.

#### **2.3.4.3 Máquina síncrona**

Outro tipo de máquinas que atualmente têm sido bastante utilizadas no transporte vertical são os motores síncronos de ímanes permanentes, controlados por conversores eletrónicos de frequência. Este motor apresenta vantagens relativamente ao motor de indução, razão pela qual é atualmente a tecnologia de motor mais utilizada na indústria elevatória. Este caracteriza-se por ter um grande fator de potência e alto rendimento, devido ao baixo consumo energético e menores perdas por Joule relativamente ao motor de indução trifásico. O controlo da velocidade é realizado por conversores eletrónicos de frequência, tornando o controlo da velocidade mais eficiente e reduzindo o custo de operação e manutenção tal como já foi explicado anteriormente nesta dissertação.

A construção do motor síncrono é idêntica à do alternador, podendo esta máquina funcionar como motor ou gerador. No caso dos elevadores, quando estes viajam no sentido

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

ascendente com a cabina vazia, existe energia libertada sob a forma de calor aquando da travagem do elevador (devido ao facto do motor estar a ser movimentado pela carga). É então possível de implementar um sistema de regeneração de energia que aproveita esta energia, utilizando para isso um conversor eletrónico de frequência que pode alimentar a rede elétrica do edifício. Nesta máquina, o circuito indutor está localizado no rotor e é composto por ímanes permanentes, responsáveis pela excitação da máquina, enquanto que o induzido situa-se no estator e é constituído pelo enrolamento trifásico. Por esta razão, a máquina síncrona pode ser classificada como especial, devido ao facto de não necessitar do fornecimento de uma corrente de excitação, uma vez que o campo indutor é criado pelos ímanes inseridos no rotor, traduzindo-se assim numa maior eficiência energética, devido ao facto das perdas por Joule no rotor serem nulas, reduzindo o aquecimento interno e a exigência do sistema de ventilação além de diminuir o nível de manutenção devido à não existência do sistema de anéis/escovas que é suscetível a desgaste. Quanto mais poderosos forem os ímanes, maior será o valor do binário máximo que a máquina é capaz de produzir. Estes ímanes inicialmente eram feitos de ferrite, mas com o tempo este material foi substituído por terras raras como o Samarium Cobalto – SmCo, caracterizados por terem uma elevada densidade de energia magnética, potenciando assim as relações potência vs peso e binário vs peso.

O princípio de funcionamento deste motor relativamente ao de indução, excitado por corrente, é bastante parecido sendo que a grande diferença está no facto da força magnetomotriz do circuito indutor da máquina síncrona, tomar sempre o mesmo valor, devido à capacidade que os ímanes permanentes têm em manter sempre a indução magnética ao longo do tempo de vida útil do motor. Sendo assim, alimentando eletricamente o enrolamento trifásico do estator, em condições normais, este será percorrido por um sistema trifásico de correntes simétricas que como consequência provocará o aparecimento de um campo magnético girante no entreferro que gira em sincronismo com a frequência de correntes que circulam no induzido, chamado campo magnético de reação do induzido. Quando o rotor se encontra a rodar à velocidade de sincronismo, devido à presença dos ímanes permanentes que criam um sistema magnético polar com  $p$  pares de polos (normalmente 2 pares de polos), é criado um campo magnético girante de excitação, o campo magnético principal da máquina, que como consequência, por efeito da interação entre o campo magnético indutor e o campo magnético de reação do

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

induzido, surge o binário eletromagnético. Como neste motor o rotor roda à velocidade de sincronismo, isto é, à velocidade do campo girante produzido pelos enrolamentos do estator, não existe deslizamento, sendo a velocidade de rotação do motor síncrono ( $n$ ) dependente apenas da frequência da corrente ( $f$ ) e o número de pares de polos da máquina ( $p$ ). A velocidade angular do veio é também sempre constante e independente da carga acoplada ao motor, pelo menos até um determinado valor máximo de binário de carga.

A expressão da velocidade da máquina síncrona é dada por:

$$n = \frac{f}{p} \quad (2.4)$$

Onde  $n$  representa a velocidade de rotação do motor síncrono,  $f$  a frequência da corrente de alimentação e  $p$  o número de pares de polos da máquina.

Segundo a expressão anterior, chega-se à conclusão que para alterar o valor da velocidade, ter-se-ia que alterar o valor da frequência da corrente de alimentação ou o número de pares de polos do motor, sendo esta última opção impraticável, uma vez que o número de polos é fixo e, por isso, resta apenas a variação de velocidade através da variação da frequência. Para realizar esta variação normalmente recorre-se a um conversor eletrónico de frequência, cujo funcionamento foi já explicado anteriormente.

O facto destas máquinas síncronas conseguirem um elevado binário com baixas rotações evita o uso redutor, contribuindo para a redução da dimensão deste motor, possibilitando a sua instalação, para o caso dos elevadores, na própria caixa, eliminando a necessidade de ter uma casa das máquinas e contribuindo para a modernização da indústria.

#### **2.3.4.4 Motores de Indução *versus* Motores Síncronos**

Com o aparecimento das novas normas relacionadas com os níveis de eficiência energética das máquinas elétricas, como a IEC60034-30 e NEMA Premium (para os Estados Unidos da América e Canadá), os fabricantes de motores têm agido de forma a desenvolver novas soluções cada vez mais eficientes.

Para o caso dos motores de indução, durante muitos anos estes foram a solução mais utilizada no transporte vertical, devido à sua elevada robustez, fiabilidade, manutenção

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

reduzida e preço relativamente baixo. No entanto, as potencialidades ao nível da eficiência energética deste tipo de máquina já foram exploradas exaustivamente, sendo que resta agir no que diz respeito à utilização de condutores de cobre de secção superior, à otimização das lâminas que constituem o núcleo ferromagnético e à utilização de gaiolas em cobre fundido. O grande problema reside no aumento do custo total da máquina que estas alterações implicam, surgindo a dúvida se realmente compensa optar pela melhoria deste tipo de máquinas se uma do tipo síncrono, com ímanes permanentes, facilmente consegue atingir o mesmo nível de eficiência, com motores de dimensão mais reduzida e com perdas de Joule nulas (devido ao facto de não possuírem enrolamentos no indutor), do que uma máquina de indução de alto rendimento. Por estas e outras razões, os fabricantes têm-se dedicado ao desenvolvimento e fabrico de motores síncronos de ímanes permanentes do tipo "*line-start*", caracterizados por terem um rendimento e fator de potência elevado, assim como fiabilidade e custos reduzidos de manutenção, com o objetivo de competir diretamente com o motor de indução. Além disso as características desta máquina permitem fazer com que as correntes na gaiola rotórica, quando esta existe, sejam nulas, não afetando o rendimento em regime estacionário.

Relativamente ao entreferro, a máquina síncrona em relação à de indução, pode apresentar uma distância superior, tornando-a mais fiável, uma vez que o aumento do entreferro minimiza o efeito de reação da armadura, permitindo reduzir assim a reatância síncrona e aumentando a estabilidade.

Quanto à componente velocidade, como já foi analisado anteriormente, o motor síncrono consegue mantê-la constante independentemente do binário de carga, enquanto que no de indução a mesma decresce com o aumento do mesmo, sendo que o facto do seu binário motor ser diretamente proporcional ao quadrado da tensão de alimentação, contribui para uma maior instabilidade da máquina perante pequenas oscilações na tensão de entrada.

Assim, cada vez mais o motor síncrono ganha terreno face ao motor de indução, restando apenas esperar que esta máquina consiga ultrapassar a de indução no que concede à vantagem competitiva preço.



### **2.3.5 Tecnologia Hidráulica *versus* Tração Elétrica**

No projeto de um elevador deverá sempre ter-se em consideração fatores como a estimação de tráfego do local onde se pretende instalar o equipamento, a velocidade nominal ideal, o conforto de viagem, a segurança, a eficiência energética, espaço disponível, nível de ruído e exigências para com a estrutura do edifício. Não considerando neste capítulo a questão relacionada com a eficiência energética de ambos os tipos de elevadores apresentados anteriormente, são discutidas algumas das diferenças entre os elevadores Hidráulicos e de Tração elétrica no que concede a pontos forte e fracos de ambas as tecnologias.

#### **2.3.5.1 Espaço de instalação**

A evolução dos motores elétricos e o aparecimento dos circuitos integrados conduziram à redução dos requisitos relacionados com o espaço de instalação de um elevador, eliminando-se muitas das vezes hoje em dia a necessidade de ter uma casa das máquinas, anteriormente instaladas por cima da caixa, como no caso dos elevadores de tração elétrica.

Desta forma, atualmente, os tipos de suspensão utilizados no elevador de tração elétrica MRL (*Machine Roomless*) são bastante mais simples do que os utilizados no elevador com casa das máquinas, pelo facto deste último necessitar de algumas rodas de desvio para a realização da suspensão. No entanto, este tipo de elevadores de tração, pelo facto de utilizarem um contrapeso, podem exercer forças prejudiciais à estrutura do edifício, o que faz com que nem todos os locais estejam aptos para a sua instalação.

Já para o caso dos elevadores hidráulicos, estes apenas necessitam de boas fundações no poço, uma vez que o braço hidráulico é responsável por suportar todo o peso da cabina, não sobrecarregando a restante estrutura do edifício, adaptando-se a qualquer edifício, apenas necessitando de um espaço perto do poço para alojamento do grupo hidráulico.

#### **2.3.5.2 Velocidade**

A velocidade nominal e conforto de ambas as tecnologias de ascensores, como já foi referido anteriormente, apresentam diferentes limites máximos de velocidade, sendo que os de tração elétrica conseguem atingir velocidades superiores aos do tipo hidráulico, permitindo um escoamento de tráfego maior, sendo mais adequados para a aplicação em grandes edifícios onde em períodos de ponta a utilização de elevadores mais rápidos

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

(estipulada entre 1,0 m/s e 1,6 m/s) é crucial. Já no caso dos elevadores hidráulicos, a sua limitação está na baixa velocidade nominal (tipicamente 0,63 m/s, embora alguns fabricantes afirmem conseguir mais 20 % dessa velocidade em descida) e na distância máxima de viagem, que dificilmente ultrapassa os 20 metros [11].

Utilizando como exemplo, o caso de um edifício de 6 pisos e tendo como base as velocidades padrão (1,0 m/s no ascensor elétrico e uma velocidade média de 0,7 m/s no hidráulico (0,63 m/s em subida e 0,84 m/s em descida)), existe uma diferença de 0,4 m/s mais rápido para a solução ascensor elétrico, o que corresponde a 10 segundos mais rápido a fazer um curso total de 15 metros (6 pisos). Assim, dependendo do tipo de edifício que se trata, esta diferença pode tornar-se relevante, especialmente no caso do mesmo se tratar de um edifício público com grande afluência de tráfego [11].

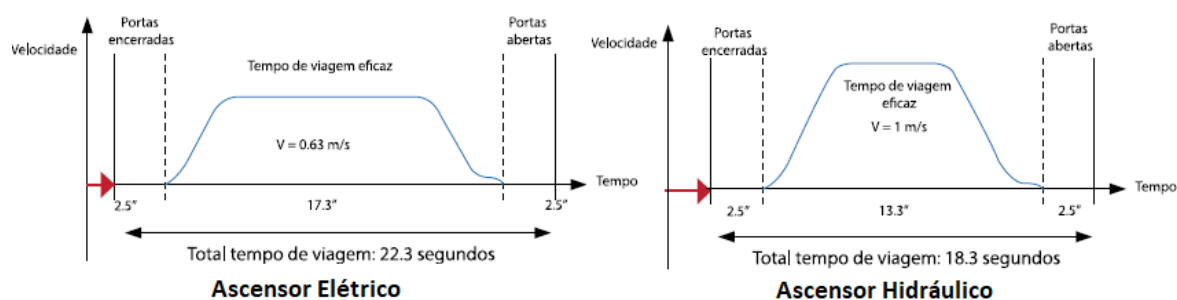


Figura 13-Comparação entre tempo de viagem para o elevador hidráulico e de tração elétrico [11]

Através da análise de ambos os gráficos apresentados anteriormente, pode concluir-se que para a mesma viagem (mesmo deslocamento da cabina), tanto a solução de ascensor de tração elétrica como hidráulico, apresentam tempos iguais no que se refere ao tempo de fecho e abertura de portas (uma vez que ambos podem utilizar o mesmo operador de porta). Todavia a grande diferença está no tempo de viagem, que no caso em estudo, para a mesma distância revelou-se quatro segundos mais rápido para o elevador de tração, diferença esta que pode ser significativa quando se trata de edifícios com grandes exigências ao nível de tráfego.

Também é importante realçar que no que diz respeito à escolha do tipo de ascensor, também há que atribuir a devida importância ao conforto de viagem. Com a recente utilização dos variadores eletrónicos de frequência (VVVF) para controlo da velocidade da máquina do ascensor de tração e com a introdução de válvulas com controlo digital no hidráulico, atualmente ambas as tecnologias de ascensores apresentam iguais níveis de

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

conforto, quer durante o arranque, quer na aproximação e paragem ao piso, conseguindo uma precisão elevada no que diz respeito à nivelção do piso.

### **2.4 Eficiência energética no transporte vertical**

#### **2.4.1 O Processo de Certificação Energética no transporte vertical**

De maneira a dar resposta aos compromissos assumidos ao nível das Nações Unidas (incluindo no quadro do Protocolo de Quioto), União Europeia (no quadro do pacote energia-clima) e nacionais, segundo o Decreto-Lei n.º 47/2015, a criação da Agência para a Energia (ADENE), através do Decreto-Lei n.º 223/2000, de 9 de setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 314/2001, de 10 de dezembro, teve como grande objetivo, realizar atividades de interesse público relacionadas com a área da energia procurando potenciar a capacidade de atuação nacional no sentido de promover a melhoria da eficiência energética e um maior aproveitamento dos recursos endógenos, através do incremento da utilização das energias renováveis e na diminuição do impacto ambiental negativo associado ao consumo de energia. Esta agência não tem quaisquer fins lucrativos e pretende fornecer apoio político e técnico à realização de programas e medidas estratégicas, assim como promover o desenvolvimento de projetos e monitorização segundo o âmbito do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e do compromisso para o Crescimento Verde, procurando assim envolver-se em diversas atividades a nível europeu e extracomunitário, na qual se podem incluir a formação e partilha de boas práticas com parceiros internacionais na área da eficiência energética.

Uma das principais atividades da ADENE é a gestão do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) que se encontra em funcionamento desde julho de 2007 e que permite avaliar e fornecer ferramentas para a melhoria do desempenho energético dos edifícios de habitação, comércio e serviços no território nacional, com vista a monitorizar os consumos energéticos das instalações consumidoras de energia e promover a sua eficiência energética. Através da atribuição de uma classe energética é então possível conhecer, com algum detalhe, o desempenho energético dos edifícios.

No entanto a experiência atual na área demonstrou que no SCE existe também a necessidade de avaliar o desempenho de outros componentes do edifício como forma de analisar melhor o seu desempenho energético global. Nesta perspetiva surgiu o Sistema de

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP), um sistema de marcação ou etiquetagem de cariz voluntário, com o objetivo de permitir ao consumidor comparar o desempenho energético de produtos de acordo com a sua classificação, baseando-se num conceito já aplicado anteriormente aos eletrodomésticos mas com o objetivo de abranger produtos que ainda não são regulados pela Diretiva de rotulagem energética, mas que no entanto contribuem significativamente para o consumo e consequente desempenho energético dos edifícios. Numa escala que parte do produto mais eficiente (Classe A) para o menos eficiente (Classe G), o comprador poderá assim comparar produtos e facilitar a aquisição dos que são mais eficientes.

Cada vez mais, com a construção de edifícios cada vez mais altos, e no caso das reabilitações, assumem-se com extrema importância a necessidade em reduzir os consumos de energia, especialmente no que diz respeito às instalações de elevação, uma vez que os elevadores representam entre 3 a 5 % do consumo de energia de um edifício, pelo que é extremamente importante identificar a melhor forma de promover a eficiência energética destes equipamentos [9].

O planeamento e desenvolvimento dos projetos deve ser pensado de forma a corresponder aos desejos dos proprietários no que concede ao aumento da eficiência energética das suas instalações. De forma a contribuir para a resolução deste problema, a etiquetagem energética dos ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes, promovida pelo SEEP, pretende auxiliar os consumidores e empresas do setor a atingir estes objetivos.

O sistema SEEP está assente numa plataforma eletrónica onde é realizada a interação entre os vários intervenientes no processo, estando aí disponibilizados todos os conteúdos que sejam relevantes sobre o transporte vertical, assegurando uma filtragem dessa mesma informação segundo o perfil de utilizador, público, empresa de manutenção, empresa de inspeção, entre outros. Aí são também considerados todos os dados necessários à emissão da etiqueta e à sua validação pelo SEEP, assim como um conjunto de medidas que possam contribuir para a melhoria do desempenho energético deste tipo de instalações e consequentemente dessa mesma classificação.

Segundo o Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de agosto, um sistema técnico de um edifício, pode ser entendido como sendo «o conjunto dos equipamentos associados ao processo de

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

climatização, incluindo o aquecimento, arrefecimento e ventilação natural, mecânica ou híbrida, a preparação de águas quentes sanitárias e a produção de energia renovável, bem como, nos edifícios de comércio e serviços, os sistemas de iluminação e de gestão de energia, os elevadores e as escadas rolantes», devendo estes mesmos ser avaliados e sujeitos a requisitos mínimos com vista promover a eficiência e a utilização racional de energia. Assim sendo, o foco de atenção dos equipamentos de transporte vertical começa a ter em conta não só o contexto tecnológico e legislativo destes equipamentos relacionados principalmente com a segurança, como também o avanço da normalização e regulamentação relacionada com o consumo energético do mesmo.

Mais tarde, com a entrada em vigor da Portaria 349-D/2013 de 2 de dezembro (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) - Requisitos de Conceção para Edifícios Novos e Intervenções), o cálculo do desempenho energético do elevador é considerado de aplicação obrigatória, devendo estes equipamentos, instalados em edifícios de comércio e serviços, obedecer aos requisitos mínimos de eficiência indicados na mesma portaria (requisito mínimo de Classe B após 31 de dezembro de 2015, comprovada através da emissão de uma etiqueta energética afixada no elevador pela entidade que é tida pela portaria como responsável pela gestão da emissão das etiquetas energéticas), em função da sua classificação segundo metodologia a definir por Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, que inicialmente seguia a norma alemã VDI 4707 e que hoje em dia foi substituída na Portaria 17-A/2016 de 4 de fevereiro pela mais recente metodologia da ISO 25745 "*Energy performance of lifts, escalators and moving walks*" [26, 27]. Assim, desta feita foi possível ultrapassar as dificuldades relacionadas com a falta da publicação de uma norma europeia e que obrigavam à utilização da norma alemã (VDI 4707), passando então à adoção de uma prática referencial europeia, que permite responder completamente ao cálculo do desempenho energético de instalações de elevação de pessoas. Nesta última portaria iria também ser considerado obrigatório para as escadas mecânicas e tapetes rolantes o requisito mínimo de Classe B após 31 de dezembro de 2015.

A ISO 25745, criada a 1 de abril de 2015, divide-se essencialmente em 3 partes: a Parte 1 (25745-1:2012) relativa à medição do consumo de energia e as restantes Partes 2 e 3

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

(25745-2:2015 e 25745-3:2015) referentes ao cálculo do desempenho energético de elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes.

A introdução dos elevadores na legislação nacional dos edifícios e a elaboração do seu sistema de etiquetagem por parte da ADENE, teve como base um estudo efetuado a nível Europeu nesta área, o “*Energy-Efficient Elevators and Escalators*” (E4) apresentado em fevereiro de 2013 e elaborado a pedido da Comissão Europeia, liderado pelo Prof. Aníbal Traça de Almeida do Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra, contando com a participação de várias entidades europeias. Este estudo teve como principal objetivo, a avaliação da eficiência energética de elevadores e escadas mecânicas, em edifícios habitacionais e de serviços, tentando sensibilizar acerca do potencial de poupança energética subjacente a este tipo de equipamentos e à importância das agências nacionais de energia intervirem neste tipo de sistemas, sugerindo a implementação de uma norma harmonizada que explicasse de que forma poderia ser realizada a medição e previsão do seu consumo energético (exemplo da ISO 25745, na altura ainda por publicar) e que obrigasse ao cumprimento de indicadores de desempenho energético mínimos, definidos em colaboração com as várias entidades instaladoras, e à implementação de uma classificação energética semelhante à que já era utilizada em alguns países europeus (VDI 4707), permitindo assim fornecer informação acessível e compreensível para os compradores ou entidades que participem na escolha dos elevadores ou escadas mecânicas nos edifícios. Segundo esse estudo, a implementação deste tipo de medidas permitiria às empresas realizar auditorias energéticas de acordo com a Norma Internacional e, ainda, conhecer mais detalhadamente alguns dos parâmetros que influenciam a classe energética.

A legislação publicada nos últimos anos, tem demonstrado uma maior tendência em considerar o elevador como um equipamento com potencial de poupança energética, sendo que, segundo a Portaria 349-D/2013 é desde já de cariz obrigatório a utilização de controlo de iluminação da cabina, a utilização do *Sleep mode* e a partir de 2019 a utilização da Regeneração de energia nos novos elevadores [27].

No próximo capítulo desta dissertação procura-se realizar uma rápida abordagem à norma europeia ISO 25745 para a certificação energética e etiquetagem de elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes.

## **2.4.2 A Norma ISO 25745**

A norma internacional ISO 25745 foi concebida como forma de apoiar o uso eficiente da energia elétrica, criando uma metodologia para efetuar a medição do consumo energético associado à operação de elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes e um suporte para as verificações periódicas deste tipo de equipamentos com vista quer ao cumprimento da legislação aplicável, quer a aspetos relacionados com a manutenção dos mesmos. Nesta norma, apenas é levado em consideração o consumo energético relativo à operação dos equipamentos de transporte, desprezando fases do ciclo de vida como o fabrico e instalação.

Para avaliar o desempenho das referidas instalações, há que ter em atenção que na norma apenas são considerados para os cálculos do consumo energético, os componentes que não sejam considerados sistemas auxiliares, como por exemplo: iluminação de apoio ao técnico, sistema de climatização e sistemas de gestão técnica.

A informação obtida no final, permite assistir os vários agentes envolvidos (proprietários dos edifícios, instaladores e responsáveis pela manutenção, arquitetos e consultores), na tomada de decisões relativamente a estes equipamentos de transporte vertical.

Preferencialmente as medições necessárias a fazer nos equipamentos de transporte deverão ser práticas e repetíveis, devendo estas ser feitas por pessoal devidamente qualificado para essa função e por equipamentos de medição apropriados, que permitam efetuar principalmente medições de energia, potência e corrente.

Quanto à sua estrutura, a ISO 25745 divide-se essencialmente em três partes:

- Parte 1, que descreve os procedimentos práticos de medição do consumo de energia dos elevadores, escadas e tapetes rolantes, para utilizar no cálculo do desempenho energético;
- Parte 2, que define o método para realizar a estimativa do consumo de energia baseado no consumo medido ou simulado, numa base anual para elevadores e define a classificação de desempenho dos mesmos;

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

- Parte 3, que define o método para realizar a estimativa do consumo de energia baseado no consumo medido ou simulado, numa base anual para escadas mecânicas e tapetes rolantes e define a sua classificação de desempenho.

### **2.4.3 Certificação energética para ascensores segundo a ISO 25745**

Para a realização dos cálculos para estimação do consumo anual de energia do ascensor, é necessário medir ou calcular os valores de energia consumida em quatro modos diferentes: Modo de viagem, Modo estacionário (logo após a paragem ao piso (Modo *standby*)), Modo *standby* cinco minutos e Modo *standby* trinta minutos.

#### **2.4.3.1 Cálculo da energia consumida por dia em viagem**

Para efetuar este cálculo, deverá ser estimado ou contado o número de viagens realizadas por dia pelo ascensor, categorizando-o segundo a sua frequência de utilização, de acordo com a Tabela 3 sugerida pela norma e com o tipo de edifício onde se encontra instalado

*Tabela 3-Categorização do número de viagens por dia e usos típicos [28]*

Categoria de uso	1	2	3	4	5	6
Número de viagens por dia ( $n_d$ )	50	125	300	750	1500	2500
Usos Típicos	Edifícios residenciais até 6 habitações  Lares  Pequeno edifício de escritórios com pouco movimento  Estações Ferroviárias suburbanas	Edifício residenciais até 20 Apartamentos  Pequeno edifício de escritórios e de serviços até 5 pisos  Hotel de Pequena dimensão  Pequenos hotéis  Parques de Estacionamento  Estações Ferroviárias  Bibliotecas  Parques de diversões	Edifício residenciais até 50 apartamentos  Edifício de escritórios e de serviços, de dimensão média até 10 pisos  Hotéis de Tamanho médio  Aeroportos  Universidades  Pequenos hospitais  Centros comerciais	Edifício residenciais com mais de 50 apartamentos  Edifício de escritórios e de serviços dimensão grande com mais 10 pisos  Grandes hotéis	Edifício de serviços com mais de 100 m de altura	Edifício de serviços com mais de 100 m de altura

Após ser encontrada a categoria de utilização do ascensor, e de acordo com o número de pisos que o mesmo serve, deve ser encontrada segundo a Tabela 4, a percentagem da



## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

distância média de viagem do equipamento,  $S_{av}$ . Este valor está em percentagem do valor correspondente à distância de uma só viagem de sentido único do ciclo de referência<sup>10</sup>.

*Tabela 4-Valores para a distância média de viagem do ascensor, em percentagem do valor da distância de uma só viagem de sentido único do ciclo de referência, segundo o número de pisos servido e categoria de utilização [28]*

Categoria de uso	1-3	4	5	6
Número de paragens	Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem			
2	100 %			
3	67 %			
>3	49 %	44 %	39 %	32 %

Analisando a tabela apresentada anteriormente, pode-se afirmar que para os casos em que o ascensor serve dois pisos, a percentagem da distância média de viagem será de 100 por cento, uma vez que é certo que em cada viagem a distância percorrida pelo mesmo será exatamente a de uma só viagem de sentido único de um ciclo de referência.

### **2.4.3.2 Energia média consumida em viagem por metro ( $E_{rm}$ )**

Para a realização do cálculo da Energia média consumida em viagem por metro,  $E_{rm}$  (em Wh/m), o ascensor deve estar a funcionar à sua velocidade nominal, sendo que este valor de energia será dado pela aplicação da seguinte fórmula:

$$E_{rm} = \frac{1}{2} \frac{(E_{rc} - E_{sc})}{S_{rc} - S_{sc}} \quad (2.5)$$

Em que  $E_{rc}$  é a energia consumida no ciclo de referência em Watt hora (Wh),  $E_{sc}$  é a energia consumida no ciclo curto em Wh,  $S_{rc}$  é a distância de uma viagem de sentido único do ciclo de referência em metros (m) e  $S_{sc}$  é a distância de uma viagem de sentido único do ciclo curto<sup>11</sup> em metros (m).

### **2.4.3.3 Energia consumida em viagem e parado ( $E_{ssc}$ )**

A energia consumida pelo ascensor em viagem e parado,  $E_{ssc}$  (Wh), diz respeito à energia consumida para acelerar o elevador até à velocidade nominal, desacelerar o mesmo desde

<sup>10</sup> Ciclo correspondente à viagem em vazio do ascensor, entre o piso terminal inferior e o piso terminal superior, incluindo a viagem de ida e volta e ambos os ciclos de abertura e fecho de porta.

<sup>11</sup> Ciclo para o qual a cabina vazia desloca-se uma distância de viagem de pelo menos um quarto do total da altura de viagem com a distância de viagem centrada em torno do ponto médio da altura de viagem e retorna ao ponto de partida sobre uma distância suficiente para que a cabina atinja uma velocidade nominal estável em ambas as direções, incluindo dois ciclos de portas completos.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

essa velocidade até ao ponto de chegada, abrir e fechar as portas, e a energia consumida enquanto o elevador se apresenta nos terminais em modo inativo (Modos *standby*), ou a aguardar o início de percurso. Esta energia é então dada por:

$$E_{ssc} = \frac{1}{2}(E_{rc} - 2 * E_{rm} * s_{rc}) \quad (2.6)$$

#### **2.4.3.4 Energia consumida em viagem num ciclo médio com o ascensor em vazio ( $E_{rav}$ )**

O ciclo médio consiste na viagem de subida e descida que cobre a distância média de viagem de uma dada instalação, incluindo o ciclo de abertura e fecho de porta. A energia que é consumida no ciclo médio de uma dada instalação, para a qual a distância do ciclo curto permite atingir a velocidade nominal, é dada por  $E_{rav}$  em Wh:

$$E_{rav} = 2 * E_{rm} * S_{av} + 2 * E_{ssc} \quad (2.7)$$

No caso da velocidade nominal não ser atingida na distância do ciclo curto, a expressão a utilizar será a seguinte:

$$E_{rav} = E_{rc} * \frac{S_{av}}{S_{rc}} \quad (2.8)$$

#### **2.4.3.5 Energia diariamente consumida em viagens**

O cálculo do consumo energético do ascensor em viagens para um dia, deve ter em atenção o valor da energia consumida em viagem num ciclo médio ( $E_{rav}$ ), assim como o fator da carga,  $k_L$ , e o número de viagens efetuadas num dia,  $nd$ , de acordo com a categoria de utilização definida anteriormente. Com estes valores, torna-se então possível obter o valor da energia diariamente consumida em viagens  $E_{rd}$  (Wh), utilizando a seguinte fórmula:

$$E_{rd} = \frac{k_L * nd * E_{rav}}{2} \quad (2.9)$$

O fator da carga ( $k_L$ ) estabelece a proporção entre a energia consumida pelo ascensor em viagem, quando este está com a carga média e a energia consumida em viagem pelo mesmo, quando este está vazio. Posto isto, a norma considera que o fator da carga pode ser calculado da seguinte forma, considerando os diferentes pesos de contrapeso de acordo com ambos os tipos de elevadores existentes:

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

Tabela 5-Cálculo do valor do Fator Carga, kL, segundo o tipo de ascensor e peso do Contrapeso [28]

Tipo de Ascensor	Contrapeso (%)	Cálculo Fator Carga (kL)
Tração Elétrico	50 %	$1 - (\%Q * 0,0164)$
Tração Elétrico	40 %	$1 - (\%Q * 0,0192)$
Tração Elétrico	30 %	$1 - (\%Q * 0,0197)$
Hidráulico	Sem Contrapeso	$1 - (\%Q * 0,0071)$
Hidráulico	35 %	$1 - (\%Q * 0,0100)$
Hidráulico	70 %	$1 - (\%Q * 0,0187)$

Onde o valor de %Q, corresponde ao valor em percentagem da carga nominal, que depende da categoria de utilização do ascensor e da respetiva carga nominal (kg), podendo o mesmo ser retirado a partir da Tabela 6 representada em seguida:

Tabela 6-Valores médios de carga do ascensor, de acordo com a carga nominal e categoria de utilização, %Q (valores em percentagem da carga nominal) [28]

Categoria de uso	1-3	4	5	6
Carga nominal(kg)	Percentagem da carga nominal (Q)			
$\leq 800$	7,5 %	9,0 %	13 %	19 %
$801 \leq 1275$	4,5 %	6,0 %	8,2 %	13,5 %
$1276 \leq 2000$	3,0 %	3,5 %	5,0 %	9,0 %
$> 2000$	2,0 %	2,2 %	3,0 %	6,0 %

No caso de os valores do contrapeso não estarem incluídos na Tabela 6, pode ser realizada a interpolação.

### 2.4.3.6 Tempo diário em modo estacionário/*standby*

De maneira a perceber o tempo que uma viagem para a distância média de viagem ( $t_{av}$  em segundos), demora a ser realizada, deve-se ter em consideração que o seu valor dependerá do tempo de abertura, espera e fecho do operador de porta ( $t_d$  em segundos), da distância média de viagem num só sentido ( $S_{av}$ ), da velocidade nominal ( $v$  em m/s) do *jerk*<sup>12</sup> ( $j$  em  $m/s^3$  e obtido através do fabricante) e da aceleração média ( $a$  em  $m/s^2$ ), podendo estes valores ser obtidos quer por medição no local, quer por informação do fabricante. Da utilização destes valores e respeitando a fórmula seguinte, resultará o tempo de viagem para a distância média de viagem.

$$t_{av} = \frac{S_{av}}{v} + \frac{v}{a} + \frac{a}{j} + t_d \quad (2.10)$$

<sup>12</sup> É entendida como sendo a taxa de variação da aceleração ( $m/s^3$ ), ou seja é a derivada da aceleração em função do tempo e relaciona-se com a solavanco sentida no arranque do ascensor.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Assim, o número total de horas em viagem por dia ( $t_{rd}$ ), pode ser calculado de acordo com o número de viagens diárias ( $n_d$ ) e o tempo que uma viagem para a distância média de viagem ( $t_{av}$ ), demora a ser realizada, utilizando para tal a expressão seguinte.

$$t_{rd} = n_d * \frac{t_{av}}{3600} \quad (2.11)$$

Sabendo o valor do número total de horas em viagem por dia ( $t_{rd}$ ), facilmente deduz-se que subtraindo às 24 horas do dia esse mesmo valor, obtém-se o tempo diário para o qual o ascensor se encontra em modo estacionário/*standby* ( $t_{nr}$ )<sup>13</sup>.

$$t_{nr} = 24 - t_{rd} \quad (2.12)$$

#### **2.4.3.7 Relação de tempo no estado estacionário/*standby***

A energia diariamente consumida pelo ascensor no modo estacionário ou *standby*, no fundo agrupa três períodos distintos:

- Período logo após a paragem do ascensor, até à entrada do modo *standby* de cinco minutos;
- Período que vai desde os cinco minutos até à entrada do modo de *standby* de trinta minutos;
- Período que excede esses mesmos trinta minutos.

A percentagem de tempo que um ascensor está em cada um dos três modos considerados anteriormente, segundo a norma ISO 25745, depende da sua categoria de utilização, podendo tomar os valores da Tabela 7 em percentagem<sup>14</sup>.

*Tabela 7-Relação entre o tempo que o ascensor se encontra no estado estacionário e no modo standby (valores em percentagem [28])*

Categoria de uso		1	2	3	4	5-6
Percentagem (%) de tempo em modo inativo e standby	$R_{id}$	13	23	36	45	42
	$R_{st5}$	55	45	31	19	17
	$R_{st30}$	32	32	33	36	41

<sup>13</sup> Nos casos em que o ascensor é desligado completamente em determinados períodos do dia, este tempo deverá ser considerado para o cálculo do  $t_{nr}$ .

<sup>14</sup> Caso as percentagens de tempo sejam obtidas por via simulação individual de tráfego, as mesmas terão que ser documentadas.

#### **2.4.3.8 Consumo de energia diária no modo estacionário/standby ( $E_{nr}$ )**

Sendo assim, o consumo de energia diária no modo estacionário ou *standby* ( $E_{nr}$  em Wh), dependerá da percentagem de tempo que o ascensor passa em cada um dos três modos anunciados anteriormente, bem como a potência consumida em cada um deles<sup>15</sup> e o tempo diário para o qual o ascensor se encontra em modo estacionário ou *standby* ( $t_{nr}$ ), resultando o valor da energia da aplicação da seguinte expressão:

$$E_{nr} = \frac{t_{nr}}{100} (P_{id}R_{id} + P_{st5}R_{st5} + P_{st30}R_{st30}) \quad (2.13)$$

Onde  $P_{id}$  é a potência usada no modo estacionário,  $R_{id}$  é a percentagem de tempo no modo estacionário,  $P_{st5}$  é a potência usada no modo *standby* após cinco minutos,  $R_{st5}$  é a percentagem de tempo no modo *standby* após cinco minutos,  $P_{st30}$  é a potência usada no modo *standby* após trinta minutos e  $R_{st30}$  é a percentagem de tempo no modo *standby* após trinta minutos.

#### **2.4.3.9 Consumo de energia diário e anual total**

O valor total da energia consumida no funcionamento diário do ascensor ( $E_d$  em Wh), deve ser calculado tendo em conta o somatório do valor da energia diariamente consumida pelo ascensor no modo estacionário/*standby* ( $E_{nr}$ ), com o valor da energia diariamente consumida pelo ascensor em viagens ( $E_{rd}$ ).

Facilmente é deduzido que o produto deste último valor ( $E_d$ ) pelo número de dias de operação anual ( $d_{op}$ ), resultará no valor anual de energia consumida pelo ascensor ( $E_y$  em Wh).

$$E_y = E_d * d_{op} \quad (2.14)$$

#### **2.4.3.10 Classificação de eficiência energética do ascensor**

Este método aplica-se a ascensores individuais, novos ou usados, cujos dados foram obtidos quer por medição direta, quer por simulação.

---

<sup>15</sup> No caso de não haver alteração entre os vários valores de potência, deve ser somada à percentagem de tempo desse mesmo modo, a percentagem do modo que a precede.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

O cálculo do valor da energia específica consumida pelo ascensor em viagem para um ciclo médio ( $E_{spc}$  em mWh/(kg\*m)), leva a um método de normalização que permite dar um valor explícito para o sistema do ascensor com referência no tipo de edifício onde o mesmo está ou vai ser instalado. Valores normalizados, permitem efetuar comparações para novos equipamentos ou mesmo para a melhoria dos existentes.

$$E_{spc} = \frac{1000 * kL * E_{rav}}{2 * Q * S_{av}} \quad (2.15)$$

Com o valor de  $E_{spc}$ , torna-se então possível obter o nível de desempenho do ascensor em viagem, através da sua associação com a Tabela 8:

*Tabela 8-Níveis de desempenho do ascensor em viagem, de acordo com a Energia específica consumida numa viagem do ciclo médio [28]*

Energia específica em viagem ( $E_{spc}$ em mWh/kgm)	≤ 0,72	≤ 1,08	≤ 1,62	≤ 2,43	≤ 3,65	≤ 5,47	> 5,47
Nível de desempenho	1	2	3	4	5	6	7

Já o nível de desempenho energético no modo *standby* e *standby* 5 e 30 minutos), é dado recorrendo à potência dos mesmos e associando-as à Tabela 9:

*Tabela 9-Níveis de desempenho do ascensor no modo standby, de acordo com a potência consumida nesses modos [28]*

Potência em modo inativo/standby (W)	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	≤ 1600	> 1600
Nível de desempenho	1	2	3	4	5	6	7

Por fim, o desempenho energético do ascensor será calculado tendo em consideração os valores limites para o valor total da energia consumida no funcionamento diário do ascensor ( $E_d$ ), recorrendo ao valor de %Q, que depende da categoria de utilização do ascensor, o tempo diário para o qual o ascensor se encontra em modo estacionário ou *standby* ( $t_{nr}$ ), ao  $S_{av}$  (distância média de viagem num só sentido na instalação em estudo) e ao número de dias de operação do mesmo, obtido por via de medição, especificação ou a média de ambos os limites de dias de operação, para o caso em que se saiba apenas a categoria de utilização.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

Tabela 10-Classe de eficiência energética do ascensor segundo a Energia consumida por dia em Wh [28]

Classes de eficiência energética	Energia consumida por dia (Wh)
<b>A</b>	$Ed \leq 0,72 \times Q \times n_d \times \frac{S_{av}}{1000} + 50 \times t_{nr}$
<b>B</b>	$Ed \leq 1,08 \times Q \times n_d \times \frac{S_{av}}{1000} + 100 \times t_{nr}$
<b>C</b>	$Ed \leq 1,62 \times Q \times n_d \times \frac{S_{av}}{1000} + 200 \times t_{nr}$
<b>D</b>	$Ed \leq 2,43 \times Q \times n_d \times \frac{S_{av}}{1000} + 400 \times t_{nr}$
<b>E</b>	$Ed \leq 3,65 \times Q \times n_d \times \frac{S_{av}}{1000} + 800 \times t_{nr}$
<b>F</b>	$Ed \leq 5,47 \times Q \times n_d \times \frac{S_{av}}{1000} + 1600 \times t_{nr}$
<b>G</b>	$Ed > 5,47 \times Q \times n_d \times \frac{S_{av}}{1000} + 1600 \times t_{nr}$

Sendo assim, segundo a Tabela 10, até que a condição representada em cada uma das classes de eficiência energética seja verdadeira, deverá proceder-se à verificação para a condição da classe seguinte, até que a mesma seja satisfeita e assim atribuída a classe de eficiência energética do ascensor.

### 2.4.3.11 Cálculo do valor de energia específico em viagem para o ciclo referência

O valor de energia específico em viagem para o ciclo referência, ou  $E_{spr}$  (em mWh/kg\*m), pode ser medido segundo a parte 1 da ISO 25745 e obtido através da seguinte fórmula:

$$E_{spr} = \frac{1000 * E_{rc}}{2 * Q * S_{rc}} \quad (2.16)$$

### 2.4.4 Certificação energética para escadas mecânicas e tapetes rolantes segundo a norma

A terceira parte da norma ISO 25745, tal como já foi referido anteriormente, faz referência à metodologia que permite realizar a estimação do consumo e classificação energética, de escadas mecânicas e tapetes rolantes, desde que, para o caso das escadas mecânicas e tapetes rolantes inclinados, a sua altura vertical não ultrapasse os 8 metros e para os tapetes rolantes horizontais, o seu comprimento não seja superior a 60 metros.

Para a obtenção do consumo anual de energia destes equipamentos, é necessário efetuar medições ou calcular, com base em valores por defeito para fins de dimensionamento, os valores da potência consumida e o respetivo período de tempo.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Esta parte da norma também serve como guia para apoio à redução do consumo energético deste tipo de equipamentos.

### **2.4.4.1 Cálculo da Energia consumida**

Para fins de dimensionamento ou onde não seja possível realizar a medição dos valores de potência de escadas ou tapetes rolantes, existe um formulário baseado em valores médios indicados pelos fabricantes e validados pela ISO/TC 178/WG 5, podendo estes mesmos mudar ligeiramente conforme as condições e o produto.

Tal como nos ascensores, também nas escadas mecânicas e tapetes rolantes, deve ser conhecido, por aproximação ou contagem exata, o número de passageiros que diariamente utilizam o equipamento (N em passageiros/dia). Se o valor exato de N não for conhecido, é possível, recorrendo à Tabela 11 e de acordo com o tipo de local onde o equipamento se encontra instalado, achar uma aproximação ao número diário de passageiros.

*Tabela 11- Uso típico diário de escadas mecânicas e tapetes rolantes de acordo com o local de instalação [29]*

Passageiros/dia (N)	Locais típicos
<3000	Lojas, museus, bibliotecas, zonas de lazer, estádios
Até 10000	Estabelecimentos retalhistas, centros comerciais, aeroportos e estações ferroviárias regionais
Até 20000	Aeroportos e estações ferroviárias principais, grandes estações metropolitanas
>20000	Grandes aeroportos e estações ferroviárias principais, estações metropolitanas de capitais

Para efetuar o cálculo da energia consumida por este tipo de equipamentos, deve-se considerar que o consumo divide-se essencialmente em dois tipos: o consumo principal,  $E_{\text{main}}$ , que diz respeito à energia que é utilizada para o meio de transporte cumprir a sua principal função (movimentação de pessoas), e o consumo auxiliar,  $E_{\text{ancillary}}$ , que faz referência à energia que os equipamentos auxiliares consomem (energia consumida por equipamentos de iluminação, ventilação, alarmes, baterias de emergência, etc.).

$$E_{\text{total}} = E_{\text{main}} + E_{\text{ancillary}} \quad (2.17)$$

Onde  $E_{\text{total}}$  é a energia total consumida pela unidade, incluindo a energia dos sistemas auxiliares, em kWh,  $E_{\text{main}}$  é a energia total consumida pela unidade, não considerando a energia dos sistemas auxiliares, em kWh,  $E_{\text{ancillary}}$  é a energia total consumida pelos sistemas auxiliares, em kWh.



## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Ainda dentro da energia principal ( $E_{main}$ ), esta mesma divide-se nas seguintes cinco componentes, relacionadas com o modo de funcionamento do equipamento:

- Energia em modo standby ( $E_{standby}$ ), que consiste na energia que é consumida na condição *standby*<sup>16</sup>, cujo valor de potência por defeito é de 0,2 kW<sup>17</sup>;
- Energia em modo de começo automático ou *auto start* ( $E_{auto\ start}$ ), que se refere à energia que é consumida na condição quando o equipamento está num estado estacionário, mas preparado a qualquer momento para funcionar caso seja detetada a presença de passageiros (através da utilização de sensores de movimento), cujo valor de potência por defeito é de 0,3 kW<sup>18</sup>;
- Energia consumida pelo controlador do equipamento em modo sem carga ou *no load condition* ( $E_{no\ load\ control}$ ), que diz respeito à energia que é consumida pelo equipamento quando este está a funcionar à velocidade nominal sem passageiros ou carga e cujo valor de potência toma o valor da Tabela 13;
- Energia consumida em modo de baixa velocidade ou *slow speed condition* ( $E_{slow\ speed}$ ), que corresponde à energia que é consumida quando o equipamento está a funcionar a uma velocidade inferior à nominal, sem passageiros, e cujo valor de potência toma metade do valor que é dado pela Tabela 13;
- Energia consumida em modo com carga ou *load condition* ( $E_{load}$ ), que faz referência à energia que é consumida quando o equipamento está a funcionar com um ou mais passageiros ou carga.

Assim, a soma destas cinco componentes da energia, resultará no valor total para a energia principal consumida pela escada ou tapete rolante.

$$E_{main} = E_{standby} + E_{auto\ start} + E_{no\ load} + E_{load} \quad (2.18)$$

Como a energia corresponde ao produto da potência pelo tempo, antes de conseguir determinar o valor de cada uma das componentes, torna-se necessário realizar uma

---

<sup>16</sup> Condição para a qual a o equipamento está num estado estacionário, todavia ligado eletricamente, podendo ser colocado em funcionamento por pessoal autorizado.

<sup>17</sup> Este valor é 50 % do  $E_{no\ load\ control}$ , uma vez que os travões, contactores e outros equipamentos não se encontram ativados.

<sup>18</sup> Este valor é 75 % do  $E_{no\ load\ control}$ , uma vez que os travões, contactores e outros equipamentos não se encontram ativados, com exceção dos indicadores de sentido.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

observação no local, do tempo de funcionamento de cada modo. Já para o caso da potência consumida para os diferentes modos, é habitual recorrer-se à Tabela 12, com valores típicos de potência *standby*, *auto start*, *no load* e *slow speed*.

Tabela 12-Valores típicos para a potência nos modos *standby*, *começo automático*, *sem carga* e *a baixa velocidade* [29]

Consumo de energia (kW)	Valores típicos por omissão
<b>Standby</b>	<b>0,2 kW</b>
<b>P<sub>auto start</sub></b>	<b>0,3 kW</b>
<b>P<sub>no load</sub></b>	<b>De acordo com a Tabela 13</b>
<b>P<sub>slow speed</sub></b>	<b>P<sub>no load</sub> x 0,5</b>

Deve ser tido em atenção que para determinar o valor da potência da unidade sem carga (*no load*), deve-se consultar a Tabela 13, onde são consideradas as potências de referência, em função do equipamento de transporte, inclinação, altura de subida, para o caso das escadas e segundo o comprimento para o caso dos tapetes rolantes e valor de velocidade. Os valores obtidos na tabela resultaram da aplicação do formulário de P<sub>no load ref</sub> como será abordado nos capítulos seguintes.

Tabela 13-Valores para a potência referência do equipamento quando este não está com carga, de acordo com o seu tipo (escada mecânica ou tapete rolante), valor de H (altura de subida), inclinação ( $\alpha$ ) e velocidade (v) [29]

Altura de subida (m)	Escada mecânica ( $\alpha=30^\circ$ )	
	v=0,5 m/s	v=0,65 m/s
3,0	2243 W	3222 W
4,5	2505 W	3602 W
6,0	2766 W	3983 W
8,0	3114 W	4490 W
Altura de subida (m)	Tapete rolante inclinado ( $\alpha=12^\circ$ )	
	v=0,5 m/s	v= 0,65 m/s
3,0	2788 W	-
4,5	3333 W	-
6,0	3878 W	-
Comprimento L (m)	Tapete rolante horizontal ( $\alpha=0^\circ$ )	
	v=0,5 m/s	v=0,65 m/s
30	3326 W	4204 W
45	4352 W	5538 W
60	5378 W	6871 W
Nota 1: Para alturas, comprimentos, inclinações ou velocidade intermédios, deve ser aplicado o formulário de referência e os valores de referência.		
Nota 2: O consumo apresentado considera o P <sub>no load control</sub>		

### 2.4.4.2 Cálculo da Energia consumida em carga

Relativamente ao caso referente às escadas mecânicas e tapetes rolantes, a energia consumida por estes, quando estão com carga, é diferente daquela que é consumida quando estão em vazio, assim como também o é para o caso do transporte ser feito no sentido ascendente, descendente ou na horizontal.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Como tal, dependendo do tipo de equipamento que se trata e do sentido da sua deslocação, deve-se considerar a utilização do seguinte formulário para o cálculo do consumo de energia elétrica em condições de carga:

Para escadas mecânicas ou tapetes rolantes com carga e em movimento no sentido ascendente, a fórmula da energia em kWh a utilizar é:

$$E_{\text{load}} = N * m * g * H * \frac{1}{3600000 * \eta} * (1 + \frac{\mu}{\text{tg}\alpha}) \quad (2.19)$$

Para escadas mecânicas ou tapetes rolantes com carga e em movimento no sentido descendente, a fórmula a utilizar é:

$$E_{\text{load}} = N * m * g * H * \eta * \frac{CF}{3600000} * (-1 + \frac{\mu}{\text{tg}\alpha}) \quad (2.20)$$

Para tapetes rolantes com carga e em movimento na horizontal, a fórmula a utilizar é:

$$E_{\text{load}} = N * m * g * L * \frac{\mu}{3600000 * \eta} \quad (2.21)$$

Em que N corresponde ao número de passageiros transportados num determinado período de observação, m corresponde à massa média de cada passageiro em kg<sup>19</sup>, g refere-se à aceleração da gravidade<sup>20</sup> em m/s<sup>2</sup>, H diz respeito à distância vertical entre o acabamento do piso inferior e superior em metros, L representa a distância em metros entre as linhas de interseção do pente e é utilizado apenas para o caso do tapete rolante na horizontal,  $\eta$  faz referência ao rendimento da unidade em carga e toma o valor de 0,75 por omissão, CF representa o fator de correção aplicado ao rendimento<sup>21</sup> ( $\eta$ ) para equipamentos cujo movimento se faça no sentido descendente e  $\mu$  diz respeito ao coeficiente de fricção devido à condição de carga e toma o valor de 0,05 por omissão.

---

<sup>19</sup> É normal considerar-se 75 kg de massa média por passageiro.

<sup>20</sup> A aceleração da gravidade toma o valor de 9,81 m/s<sup>2</sup>.

<sup>21</sup> Considera-se um CF=0 se o número de passageiros por dia for inferior a 10 000 ou para equipamentos com inversores não regenerativos e um CF=0,5 se o número de viagens for superior a 10 000.

#### **2.4.4.3 Classificação energética de escadas e tapetes rolantes**

Para o caso das escadas e tapetes rolantes, é essencial que haja um cálculo da potência referência do equipamento para o seu funcionamento sem carga ( $P_{no\ load\ ref}$ ), sendo para tal necessário considerar o somatório do valor da potência consumida pelo sistema do corrimão ( $P_{no\ load\ handrail}$ ), pelos degraus ou paletes ( $P_{no\ load\ step/pallet}$ ) e pelo sistema de controlo sem carga ( $P_{no\ load\ control}$ ).

$$P_{no\ load\ ref} = P_{no\ load\ handrail} + P_{no\ load\ step/pallet} + P_{no\ load\ control} \quad (2.22)$$

Assim, considera-se que a fórmula que permite obter o valor da potência no sistema de corrimão do equipamento, segundo a norma é dada por:

$$P_{no\ load\ handrail} = \frac{2 * \cos(\alpha) * \left( A * \frac{H}{\tan(\alpha)} + B \right) * v}{1000 * \eta_{no\ load}} \quad [kW] \quad (2.23)$$

Onde  $\alpha$  corresponde ao ângulo de inclinação (em graus), medido entre o sentido do movimento dos degraus ou tapete relativamente à horizontal,  $\eta_{no\ load}$ , faz referência à eficiência da unidade sem carga, H diz respeito à distância vertical entre o acabamento do piso inferior e superior em metros, A corresponde à componente da força de arrastamento do corrimão, dependente do comprimento e normalizada para a horizontal (Newton/metro), B corresponde à componente constante da força de arrastamento do corrimão, normalizada para a horizontal (Newton) e v diz respeito à velocidade nominal do equipamento (m/s).

A aplicação da fórmula representada anteriormente aplica-se ao caso de escadas mecânicas, sendo necessária a substituição, para o caso do tapete rolante plano, da razão entre H e  $\tan(\alpha)$  pelo comprimento do mesmo (L em metros).

Já a potência consumida pelo sistema de degraus ou paletes, dependerá também de H,  $\alpha$ , v e  $\eta_{no\ load}$ , bem como o acréscimo de outras variáveis como a massa dos mesmos (degraus ou paletes) ( $m_{SB/PB}$  em kg) e da massa da sua correia por metro ( $m_{chain}$  em kg/m), do comprimento dos degraus ou paletes (D em metros), de um coeficiente de fricção médio para o sistema ( $\mu_{SB/PB}$ ) e da componente constante relativa à força de arrastamento reversa para o sistema de degraus ou paletes (C em kN).

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

$$P_{no\ load\ step/pallet} = \frac{\left[ \left( 2 * \left( \frac{m_{SB/PB}}{D} + 2 * m_{chain} \right) * \frac{9,81 \left[ \frac{m^2}{s} \right]}{1000} * \mu_{SB/PB} * \frac{H}{\tan(\alpha)} + C \right) * V \right]}{\eta_{no\ load}} \quad [kW] \quad (2.24)$$

Tal como na fórmula utilizada para  $P_{no\ load\ handrail}$ , a aplicação da fórmula representada acima, aplica-se ao caso de escadas mecânicas, sendo necessária a substituição, para o caso do tapete rolante plano, da razão entre  $H$  e  $\tan(\alpha)$  pelo comprimento do mesmo ( $L$  em m).

Como se tratam de cálculos de valores de referência de potência, estes devem ter em consideração os valores obtidos para equipamentos de referência<sup>22</sup>, cujas variáveis são dadas pela Tabela 14:

Tabela 14-Valores de referência para as variáveis necessárias para o cálculo da potência referência sem carga [29]

Variável	Escada mecânica $v < 0,65$ m/s todas as inclinações	Escada mecânica $v \geq 0,65$ m/s todas as inclinações	Tapete rolante inclinado $\alpha > 3^\circ$ até $12^\circ$	Tapete rolante horizontal $\alpha = 0^\circ$ até $3^\circ$	Unidades
A	9	5	4	5	N/m
B	400	400	400	300	N
C	0,1	0,1	0,1	0,1	kN
D	0,405	0,405	0,405	0,405	m
$\eta_{no\ load}$	0,3	0,25	0,34	0,4	--
$\mu_{SB/PB}$	0,05	0,05	0,05	0,05	--
$m_{SB/PB}$	14	14	14	14	kg
$m_{chain}$	5,5	7	5,5	5,5	kg/m
$P_{no\ load\ control}$	0,4	0,4	0,4	0,4	kN

Através da análise da Tabela 14, é possível verificar que o valor da componente da potência relativa ao sistema de controlo,  $P_{no\ load\ control}$ , é dada diretamente pela mesma.

Assim, seguindo esta metodologia, é possível obter o valor da potência de referência consumida pelo equipamento,  $P_{no\ load\ ref}$ , bem como servir de ferramenta para efetuar o cálculo da potência específica consumida pelo mesmo,  $P_{no\ load\ spec}$ , caso haja conhecimento dos valores específicos para as variáveis da Tabela 14. O valor da potência específica, auxiliará no cálculo da classificação energética e poderá ser determinado quer pelo uso do formulário anterior, quer através da realização de medições no próprio equipamento, caso o mesmo já exista, seguindo para tal os procedimentos apresentados na parte 1 da Norma ISO 25745. No entanto é preciso ter em consideração que as medições apenas deverão ser

<sup>22</sup>Neste caso utilizaram-se equipamentos da Classe D a 100 % segundo a classificação do desempenho energético.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

realizadas posteriormente a um período mínimo de funcionamento de 1 000 horas, após 30 minutos de funcionamento contínuo<sup>23</sup> e a uma temperatura ambiente entre 10 °C e 30 °C.

A razão entre a potência específica consumida sem carga,  $P_{no\ load\ spec}$  e a potência de referência consumida sem carga,  $P_{no\ load\ ref}$ , resulta na relação desempenho energético:

$$\frac{P_{no\ load\ spec}}{P_{no\ load\ ref}} [\%] \quad (2.25)$$

A classe de desempenho energético de uma escada ou tapete rolante, tende assim a considerar o impacto da eficiência dos componentes ativos e passivos (relacionados com a fricção dos componentes) classificando-as segundo uma gama de classes que vai desde A+++ até E (melhor e pior desempenho energético). A determinação da classe energética é realizada com base na relação desempenho energético determinada pela fórmula anterior, bastando apenas associar o seu valor aos respetivos intervalos de classes da Tabela 15.

Tabela 15-Classe de desempenho energético dada em função da relação desempenho energético [29]

Rácio de performance energética	≤55 %	≤60 %	≤65 %	≤70 %	≤80 %	≤90 %	≤100 %	>100 %
Classe de performance energética	A+++	A++	A+	A	B	C	D	E

Também fora do contexto do indicador de classe de desempenho energético do meio de transporte, está também o cálculo da relação do desempenho do modo de operação de referência, que se baseia na utilização de um perfil de uso referência dado pela norma para os diferentes modos de operação. Este indicador não tem qualquer influência sobre a relação de desempenho energético e também aqui outros perfis que não os de referência podem ser calculados segundo as metodologias dadas pela norma.

Tabela 16-Valores de referência diários de tempo em horas (h) e energia consumida dos diferentes modos de operação em kW hora por dia (kWh/d) [29]

Modo de operação	Power off	Slow Speed	Auto Start	Operação Contínua
$t_{total}$	24h	24h	24h	24h
$t_{nominal\ speed}$	12h	10h	10h	12h
$t_{standby}$	0h	12h	12h	12h
$t_{power\ off}$	12	--	--	--
$t_{slow\ speed}$	--	2h	--	--
$t_{auto\ start}$	--	--	2h	--
Consumo de energia <sup>a</sup>	30,1 kWh/d	30,0 kWh/d	28,1 kWh/d	32,5 kWh/d
Rácio de performance do modo de operação	93 %	92 %	86 %	100 %
Nota: A combinação do modo slow speed e auto start leva para um outro perfil de uso e não é considerado a)- Sem considerar o consumo de energia devido ao transporte de passageiros (Eload)				

<sup>23</sup> Este período de 30 minutos permite com que a temperatura da máquina estabilize.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Segundo a Tabela 16, para o caso do perfil de referência, é possível concluir que o modo de operação com começo automático (*auto start*) é aquele que permite obter um melhor desempenho energético, pois relativamente ao funcionamento em modo contínuo (normal), representa uma poupança de 14 % no consumo de energia.

O modo em que cada um dos equipamentos tem capacidade em operar, deverá ser representado pelo respetivo logotipo, tal como na Figura 14, pelo que para já, ao contrário do que sucede com a classe de desempenho energético, a norma carece ainda de um indicador de classe relativa ao modo de operação.

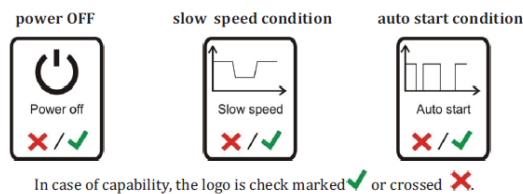


Figura 14-Etiquetagem para os diferentes modos de operação do equipamento [29]





### **3 Desenvolvimento de simulador para certificação energética de escadas mecânicas e tapetes rolantes**

#### **3.1 Introdução ao simulador**

Partindo dos pressupostos abordados em capítulos anteriores, relativamente ao processo de certificação energética de escadas mecânicas e tapetes rolantes, foi identificado um problema relacionado com a falta de ferramentas informáticas que facilitassem a aplicação dos métodos representados na parte 1 e 3 da norma ISO 25745. Perante esta condicionante, estabeleceu-se como objetivo para esta dissertação a realização de um *software* que procurasse auxiliar os técnicos responsáveis por certificações energéticas e, ao mesmo tempo, diminuir o tempo de cálculo.

Além de seguir a parte 1 e 3 da norma ISO 25745, o desenvolvimento deste simulador baseou-se nos documentos normativos vigentes relativos à conceção de escadas mecânicas e tapetes rolantes, como a EN 115:1995 (Normas de segurança para a construção e instalação de escadas mecânicas e tapetes rolantes), de forma a limitar a simulação apenas a equipamentos que respeitem os limites legais impostos.

Posteriormente à elaboração do programa informático foi proposta a validação do mesmo, recorrendo aos dados obtidos em certificações realizadas a equipamentos deste tipo. Sendo assim, e com a colaboração da empresa Gateci - Gabinete Técnico de Certificação e Inspeção e Schmitt+Sohn Elevadores, foi então possível acompanhar no campo, a realização de algumas auditorias a escadas mecânicas, com o objetivo de identificar a sua classe energética e analisar o seu consumo energético para um período de funcionamento de 24 horas. Salienta-se que as auditorias são preponderantes para a evolução de tecnologias e melhoria na eficiência. Posto isto, as principais características obtidas para a primeira escada mecânica estudada foram as que se apresentam na Tabela 17:

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

Tabela 17-Dados iniciais de entrada para certificação energética da escada mecânica 1

Dados da instalação	
Local de Instalação	Estação Ferroviária
Tipo de instalação	Escada mecânica
Sentido de funcionamento do equipamento	Ascendente
Altura	6,686 m
Inclinação	30 °
Largura de degrau	800 mm
Velocidade nominal	0,5 m/s
Velocidade baixa	0,2 m/s
Nº diário de passageiros	6750 passageiros/dia (obtido por medição)
Potência da máquina de tração	7,5 kW

Após verificadas as respetivas características do equipamento, foi necessário efetuar o desmantelamento da plataforma superior da escada, onde se situa a casa das máquinas, de forma a permitir o acesso ao quadro de comando e aos cabos da alimentação principal.



Figura 15-Bloqueio da escada mecânica ao público, realizado através da utilização de barreiras

Após ser possibilitado o acesso ao módulo de comando da escada, realizou-se a abertura do mesmo para que fossem identificados todos os possíveis pontos de acoplamento para os equipamentos de medida e realizado o devido levantamento de dados necessários ao processo de certificação energética.

Segundo a parte 1 da norma ISO 25745, para o caso das escadas mecânicas e tapetes rolantes, existem dois pontos de acoplamento para efetuar as medições no equipamento. O primeiro situa-se logo após a saída do disjuntor interruptor do circuito principal, que acopla o circuito de controlo e comando, a máquina de tração e respetivo conversor e travão, assim como a iluminação dos degraus, pente e luz de indicação de trânsito. Já o segundo situa-se após a saída do interruptor disjuntor do circuito de equipamentos auxiliares, que alimenta circuitos secundários do equipamento, que apesar de poderem ser um complemento ao bom funcionamento do equipamento de transporte, não são essenciais.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

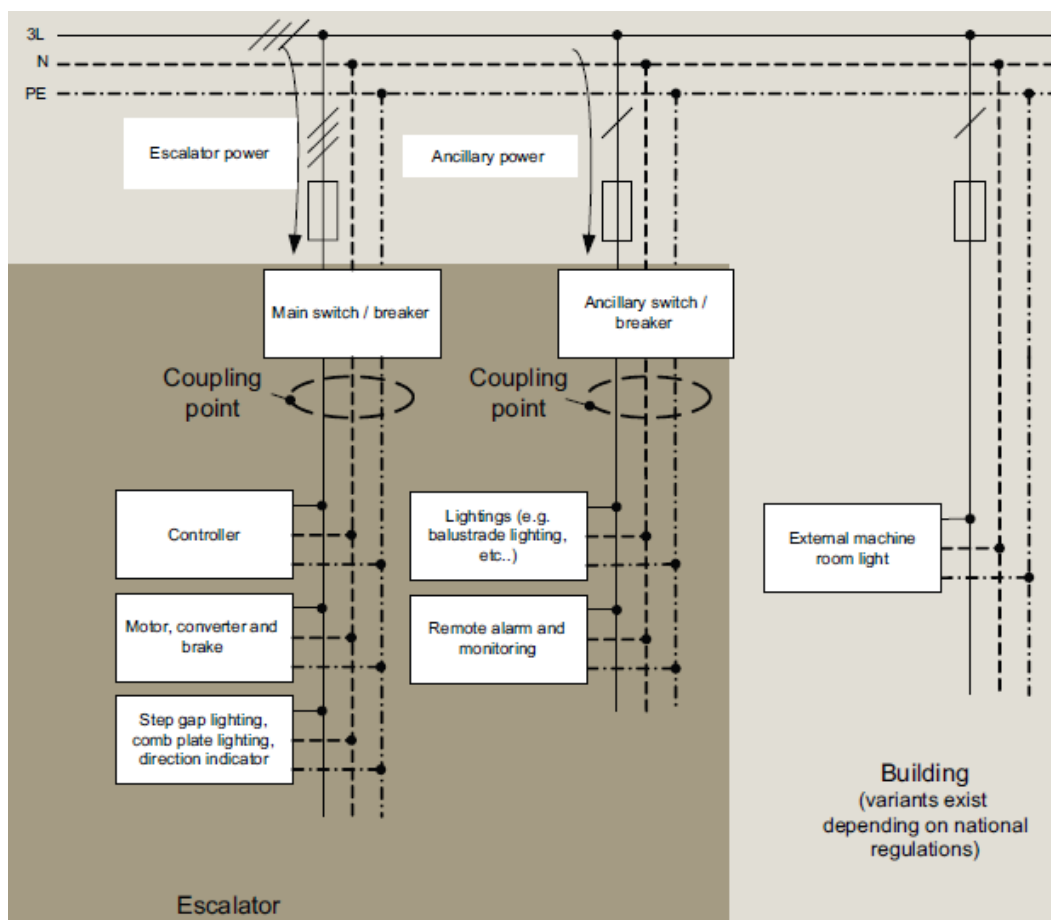


Figura 16-Pontos de acoplamento existentes para equipamentos de medida, segundo a parte 1 da norma ISO 25745 para as escadas mecânicas e tapetes rolantes

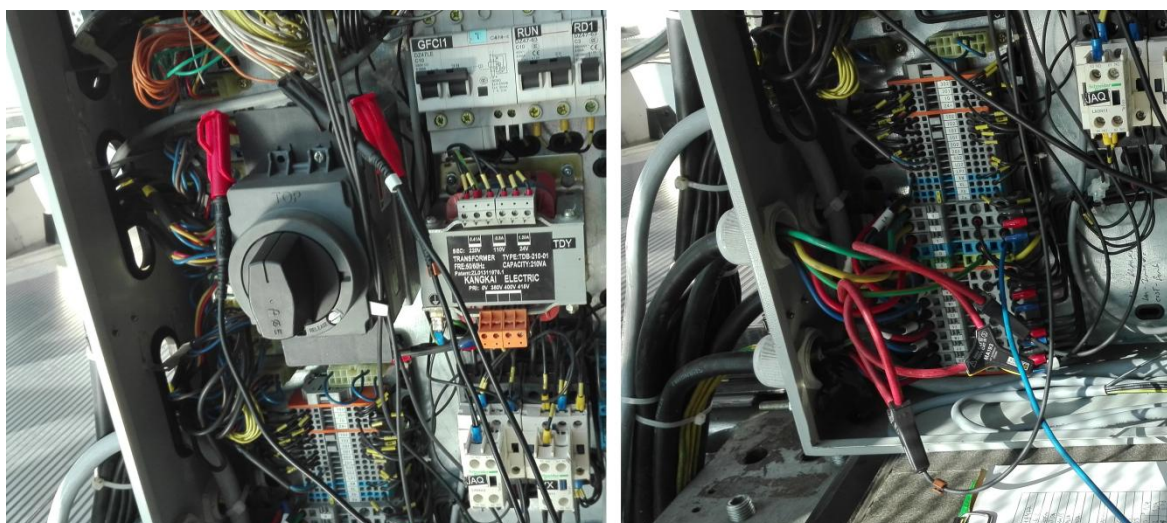


Figura 17-Quadro de comando da escada mecânica em estudo e respetivos pontos para acoplamento das pontas de prova de tensão (figura do lado esquerdo) e corrente do analisador de energia (figura do lado direito)

Atualmente a norma não considera a existência de uma classificação de desempenho energético que tenha em consideração os consumos dos equipamentos auxiliares, o que faz

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

com que não seja necessário proceder a qualquer tipo de medições no circuito secundário. No entanto, a norma obriga a que todos os equipamentos que estejam inseridos no circuito secundário de equipamentos auxiliares sejam desligados enquanto for efetuado o levantamento de dados para efetuar a classificação do desempenho energético da escada ou tapete.

A partir deste ponto, conseguiu-se retirar os valores de cada fase da tensão da alimentação, V(L1), V(L2) e V(L3) e os da corrente das respetivas fases (I(L1), I(L2) e I(L3)) para o equipamento no sentido normal de funcionamento e também no sentido contrário, servindo este último apenas para comparação com os outros equipamentos do local.

*Tabela 18-Valores da tensão de alimentação e da corrente obtidos para a escada 1*

<b>Variável medida</b>	<b>Valor medido no sentido de funcionamento normal (ascendente)</b>	<b>Valor medido no sentido contrário de funcionamento (descendente)</b>
<b>V(L1)</b>	236 V	236 V
<b>V(L2)</b>	235 V	235 V
<b>V(L3)</b>	235 V	235 V
<b>I(L1)</b>	3,23 A	1,4 A
<b>I(L2)</b>	3,02 A	1,34 A
<b>I(L3)</b>	3,08 A	1,38 A

Numa breve análise dos valores obtidos na Tabela 18 é possível constatar que, relativamente à tensão de entrada do circuito principal, a mesma apresenta valores iguais para todas as fases, enquanto que, já para os valores de corrente medidos com o equipamento em funcionamento normal, pode-se concluir que os mesmos são inferiores para o caso em que a escada funciona no sentido descendente, em relação aos valores obtidos para a sua operação no sentido ascendente, devido ao facto da própria massa dos degraus contribuir para a origem de uma força que ajuda o movimento descendente da escada, fazendo baixar o binário exigido ao motor.

Por último, e comparando os valores de corrente entre fases, pode-se averiguar que a fase 1 consome ligeiramente mais do que as restantes fases, podendo esta discrepância de valores residir no facto de muito frequentemente estes equipamentos terem que partilhar uma fase da alimentação para alimentar não só uma fase da máquina de tração, como também um circuito monofásico do comando eletrónico da escada. O próximo teste a realizar envolveu a colocação do equipamento nos vários modos de operação existentes. No caso da escada 1 da auditoria, a mesma possui os seguintes modos de operação: Modo Normal, *Auto Start* e

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

*Slow Speed*. Consignando isto, foram medidos em cada um dos modos possíveis, os valores de potência, em ambos os sentidos de funcionamento<sup>24</sup>, obtendo-se os valores da Tabela 19. Desde já, é importante referir que, para o caso em que se realize o teste da escada no seu modo de funcionamento normal sem carga, é necessário esperar que o sistema de degraus efetue um mínimo de três voltas completas para registar os valores de potência nesse mesmo modo.

Tabela 19-Valores de potência medidos nos diferentes modos de funcionamento, para a auditoria da escada 1

Modo de operação	Potência no sentido normal de funcionamento do equipamento (ascendente) (kW)	Potência no sentido contrário ao normal de funcionamento do equipamento (descendente) (kW)
Normal sem carga (ao fim de 3 voltas)	2,282 kW	2,250 kW
Standby	0 kW	0 kW
Auto Start	96 W	96 W
Slow Speed	1,020 kW	0,940 kW

Explorando os diferentes valores de potência obtidos para os diferentes modos de operação da escada, verifica-se que, no que diz respeito ao modo *Standby*, o valor da potência registada é nula, devido ao facto de, ao contrário do que é dito na norma ISO 25745, onde o conceito de *Standby* diz respeito a um estado onde o equipamento se encontra ligado e pronto a ser colocado em funcionamento por pessoal especializado, neste caso, este modo não está de acordo com a definição, pelo que foi desconsiderado, considerando apenas que esta escada possui apenas o modo *Auto Start*.

A partir do momento em que são conhecidos estes valores de potência e os restantes dados retirados previamente (Tabelas 17, 18 e 19), é possível ser realizada a certificação energética do equipamento e encontrada a sua classe de desempenho energético. Para tal, deve-se realizar o cálculo da potência de referência sem carga ( $P_{no\ load\ ref}$ ), sendo primeiramente necessário a obtenção dos valores de potência de referência para o sistema corrimão,  $P_{no\ load\ handrail}$ , potência de degraus ou paletes sem carga,  $P_{no\ load\ step/pallet}$ , e do sistema de controlo sem carga,  $P_{no\ load\ control}$ .

<sup>24</sup> A norma apenas faz referência à realização das medições nos diferentes modos para o sentido de funcionamento normal do equipamento, mas, no entanto neste caso em estudo, resolveu-se realizar os testes em ambos os sentidos de forma a possibilitar a uma comparação dos valores com as restantes escadas.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Desta forma, e recorrendo às equações 2.22, 2.23, 2.24, 2.25 e Tabelas 13 e 14, que são fornecidas anteriormente, é possível, de acordo com as características técnicas da escada, proceder ao cálculo da respetiva classe energética, da seguinte forma:

1º Passo- Cálculo do respetivo valor de  $P_{\text{no load handrail}}$ :

$$P_{\text{no load handrail}} = \frac{2 * \cos(30) * \left(9 * \frac{6,686}{\tan(30)} + 400\right) * 0,5}{1000 * 0,3} \text{ [kW]}$$

$$P_{\text{no load handrail}} = 1,456 \text{ kW}$$

2º Passo- Cálculo do valor de  $P_{\text{no load step/pallet}}$ :

$$P_{\text{no load step/pallet}} = \frac{\left[ \left( 2 * \left( \frac{14}{0,405} + 2 * 5,5 \right) * \frac{9,81 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]}{1000} * \mu_{\text{SB/PB}} * \frac{6,686}{\tan(30)} + 0,1 \right) * 0,5 \right]}{0,3} \text{ [kW]}$$

$$P_{\text{no load step/pallet}} = 1,029 \text{ kW}$$

3º Passo- Cálculo do valor de  $P_{\text{no load control}}$ :

Com base na Tabela 14, para uma escada com velocidade nominal inferior a 0,65 m/s e para uma qualquer inclinação, obteve-se que:

$$P_{\text{no load control}} = 0,4 \text{ kW}$$

4º Passo- Cálculo do valor de  $P_{\text{no load ref}}$ :

$$P_{\text{no load ref}} = 1,456 + 1,029 + 0,4$$

$$P_{\text{no load ref}} = 2,885 \text{ kW}$$

5º Passo- Cálculo do valor da relação de desempenho energético da escada:

A razão entre a potência específica consumida sem carga,  $P_{\text{no load spec}}$ , medida diretamente no equipamento, e a potência de referência consumida sem carga,  $P_{\text{no load ref}}$ , resulta na relação desempenho energético do equipamento. Assim, realizou-se o seguinte cálculo:

$$\frac{2,282}{2,885} * 100 = 79,099 \% \rightarrow \text{Correspondente à Classe B (Obtida recorrendo à Tabela 15)}$$

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Posto isto, o resultado final obtido dita que o equipamento possui uma relação de desempenho energético de aproximadamente 79,1 %, que corresponde, segundo a Tabela 15, a uma classificação energética do tipo B.

Assim sendo, chega-se ao final do cálculo da classe de desempenho energético da escada, e consequentemente ao final da auditoria, abrindo novamente o equipamento ao público geral. No entanto, optou-se por manter o analisador de energia ligado ao quadro de comando, durante um período de funcionamento de 24 horas, de maneira a analisar o comportamento energético do equipamento ao longo de um dia de utilização.

Quanto à escada mecânica adjacente à anterior (escada 2), todas as características são idênticas, sendo apenas alterado o seu sentido de funcionamento (ascendente para descendente), seguindo-se os mesmos procedimentos usados anteriormente, resultando nos seguintes valores:

*Tabela 20-Valores de potência medidos nos diferentes modos de funcionamento, para a auditoria da escada 2*

<b>Modo de operação</b>	<b>Potência no sentido normal de funcionamento do equipamento (descendente) (kW)</b>
<b>Normal sem carga (ao fim de 3 voltas)</b>	2,438 kW
<b>Standby</b>	0 kW
<b>Auto Start</b>	128 W
<b>Slow Speed</b>	1,040 kW

E para o cálculo da certificação energética:

*Tabela 21-Resultados obtidos para a certificação energética da escada 2*

<b>Escada</b>	<b>P no load handrail</b>	<b>P no load step/pallet</b>	<b>P no load control</b>	<b>P no load referência</b>	<b>P no load spec</b>	<b>Relação Desempenho energético</b>	<b>Classe energética</b>
<b>Escada 2</b>	1,456 kW	1,029 kW	0,4 kW	2,885 kW	2,438 kW	84,506 %	C

Por fim, as últimas duas escadas a serem classificadas energeticamente neste trabalho (escadas 3 e 4), apresentam as características e consumos apresentados no Anexo 3, pelo que, no final, foram obtidos os seguintes resultados para a sua certificação energética:

*Tabela 22-Resultados obtidos para a certificação energética das escadas 3 e 4*

<b>Escada</b>	<b>P no load handrail</b>	<b>P no load step/pallet</b>	<b>P no load control</b>	<b>P no load referência</b>	<b>P no load spec</b>	<b>Relação Desempenho energético</b>	<b>Classe energética</b>
<b>Escada 3</b>	1,501 kW	1,160 kW	0,4 kW	3,061 kW	2,410 kW	78,732 %	B
<b>Escada 4</b>	1,501 kW	1,160 kW	0,4 kW	3,061 kW	2,376 kW	77,622 %	B

Numa breve síntese realizada aos resultados obtidos para a certificação energética das escadas, pode-se concluir que o melhor valor obtido para a relação de desempenho



### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

energético foi o da escada 4, com aproximadamente 77,62 %, enquanto que o pior valor foi o da escada 2, com 84,51 %. No geral, a maior parte dos equipamentos pertence à classe de eficiência energética B, com exceção da escada 2, que não foi para além da classe C, o que seria de esperar devido à superior potência no sentido normal de funcionamento do equipamento (descendente).

Em jeito de conclusão, pode-se afirmar que todos o equipamentos estão classificados com um nível de eficiência energética aquém do desejado, pelo que, mesmo para o melhor nível encontrado (nível "B") existem ainda quatro níveis de eficiência energética superiores ("A+++", "A++", "A+" e "A") e apenas três inferiores ("C", "D" e "E").

#### **3.1.1 Resultados do consumo energético**

No que diz respeito aos consumos energéticos e tempos nos respetivos modos de operação, relativos ao funcionamento das quatro escadas mecânicas estudadas anteriormente, estes foram obtidos com base numa monitorização realizada durante aproximadamente 24 horas, utilizando o mesmo equipamento analisador de energia usado anteriormente. Assim, foram obtidos os valores da Tabela 23 para o tempo de permanência nos diferentes modos de operação disponíveis nas escadas.

*Tabela 23-Monitorização dos tempos despendidos por dia, nos respetivos modos de funcionamento das quatro escadas estudadas*

Tempo despendido por dia pelas escadas em cada modo de operação (horas:minutos)				
Monitorização	Escada 1	Escada 2	Escada 3	Escada 4
Tempo de consumo de energia ( $t_{Total}$ )	24 horas			
Tempo de standby ( $t_{standby}$ )	00:00	00:00	03:30	03:30
Tempo de auto start ( $t_{autostart}$ )	11:00	09:30	00:00	00:00
Tempo em velocidade nominal ( $t_{nominal\ speed}$ )	05:30	09:00	05:00	06:30
Tempo em velocidade reduzida ( $t_{vlow}$ )	07:30	05:30	15:30	14:00

E para os valores de potência obtidos nas medições realizadas pelo equipamento de medida de acordo com os respetivos modos de operação:

*Tabela 24-Potências consumidas pelas quatro escadas nos respetivos modos de funcionamento (em Watts)*

Consumos (W)				
Monitorização	Escada 1	Escada 2	Escada 3	Escada 4
Consumo em Standby	0	0	70	70
Consumo em Auto Start	96	128	0	0
Consumo em Velocidade reduzida ( $v_{low}$ )	1020	1040	1220	1120
Consumo sem carga (no load condition)	2282	2438	2410	2376
Consumo de circuitos auxiliares	n/considerado	n/considerado	n/considerado	n/considerado
Nota: As escadas 3 e 4 não possuem consumo no modo Auto Start, porque não estão equipadas com sensores e como tal não possuem esse modo de operação.				



## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

No final, de acordo com os valores de potência obtidos para cada modo de operação das escadas e tendo em consideração os respetivos tempos que refletem um período de observação de 24 horas, foi possível estimar o consumo energético diário através de um cálculo baseado na parte 3 da norma ISO 25745. Estes cálculos basearam-se no capítulo 2.4.4.1 e 2.4.4.2 deste documento e nas equações 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, apenas considerando os valores de potência obtidos pelo aparelho de medida utilizado e não os valores por defeito da Tabela 12. Com isto, foi possível estimar os valores de energia diária:

*Tabela 25-Previsão da Energia diariamente consumida pelas quatro escadas nos respetivos modos de funcionamento e na sua totalidade, segundo o modelo teórico da ISO 25745*

Equipamento	Escada 1	Escada 2	Escada 3	Escada 4
$E_{standby}$ (W/h)	0	0	245	245
$E_{autostart}$ (W/h)	1056	1216	0	0
$E_{no\ load}$ (W/h)	12551	21942	12050	15444
$E_{vlow}$ (W/h)	7650	5720	18910	15680
$E_{load}$ (kW/h) (Ascendente)	13,36	13,36	15,38	15,38
$E_{load}$ (W/h) (Descendente)	0	0	0	0
$E_{main}$ (W/h) (Ascendente)	34617	42238	46585	46749
$E_{main}$ (W/h) (Descendente)	21257	28878	31205	31369

No que se refere ao consumo energético diário, obtido recorrendo diretamente ao analisador de energia e ao respetivo *software* de análise, foi possível chegar aos seguintes valores de energia ativa e reativa diária:

*Tabela 26-Energia ativa e reativa diariamente consumida pelas quatro escadas, segundo a monitorização de 24 horas realizada pelo equipamento de medição*

Equipamento	Escada1 (ascendente)	Escada2 (descendente)	Escada3 (descendente)	Escada4 (ascendente)
<b>E ativa (kWh)</b>	21,74	18,42	27,40	31,42
<b>E reativa (kVArh)</b>	21,07	17,44	-13,887	-21,154

Assim, considerando os valores de energia obtidos, quer pelo cálculo teórico, dados pela Tabela 25, quer pela medição através do equipamento, dados pela Tabela 26, é possível verificar que para todas as escadas, os valores diferiram significativamente. A explicação para esta diferença, pode dever-se ao facto da estimativa de 6750 passageiros por dia, não ser assim tão próxima da realidade para as restantes escadas, uma vez que o consumo realizado com base nesse número, foi quase o dobro do consumo real medido pelo analisador de energia. Numa análise centrada apenas nos valores obtidos pela monitorização de 24 horas realizadas pelo equipamento de medida, os valores da energia ativa consumida parecem estar dentro do normal, não diferindo muito entre escadas adjacentes. Através da Tabela 26, também é possível verificar que as escadas consomem

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

mais no sentido ascendente do que no sentido descendente. Focando a análise no valor da energia previsto teoricamente (Tabela 25) para a escada 2, o valor da energia diária obtida tanto para o movimento no sentido ascendente, como descendente é superior 7621 Wh ao valor da energia obtida para escada adjacente 1 em ambos os sentidos, tratando-se de uma diferença bastante significativa. A ISO 25745 também permite, de uma forma simples e prática, auxiliar no processo de verificação de energia dos equipamentos, permitindo identificar alterações significativas no uso de energia dos mesmos ao longo do seu ciclo de vida e possibilitar o reconhecimento de eventuais anomalias. Este último caso apresentado pressupõe a existência de alguma anomalia no equipamento no momento da medição, pelo que, tanto o consumo registado naquele momento, para o equipamento à velocidade nominal, como o consumo em *Auto Start* e em baixa velocidade, foi sempre superior ao consumo da escada adjacente. Perante este facto, entende-se que o funcionamento desta escada deve ser acompanhado e monitorizado mais frequentemente.

Nas Figuras 18 e 19 estão representados os diagramas de carga diários referentes às escadas 1 (no sentido ascendente) e 2 (no sentido descendente), estudadas anteriormente, considerando registos num intervalo de tempo de 10 em 10 minutos, de forma a perceber o perfil de utilização diário de ambos equipamentos.

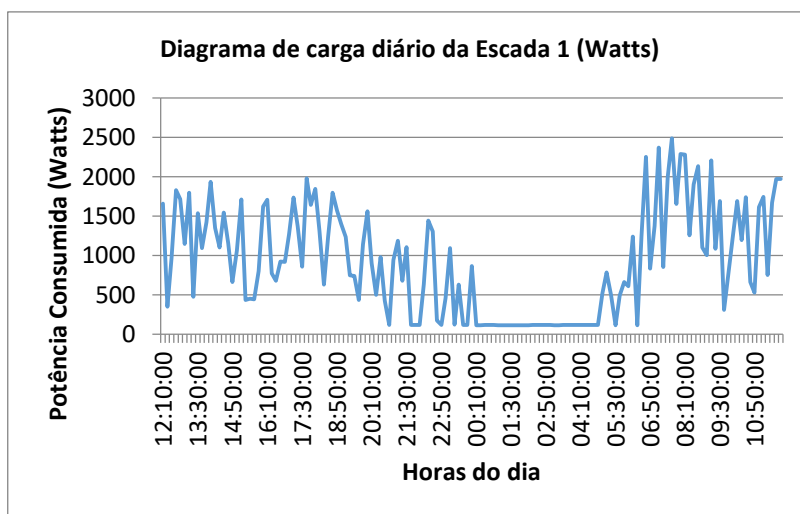


Figura 18-Diagrama de carga diário da escada 1 (ascendente)

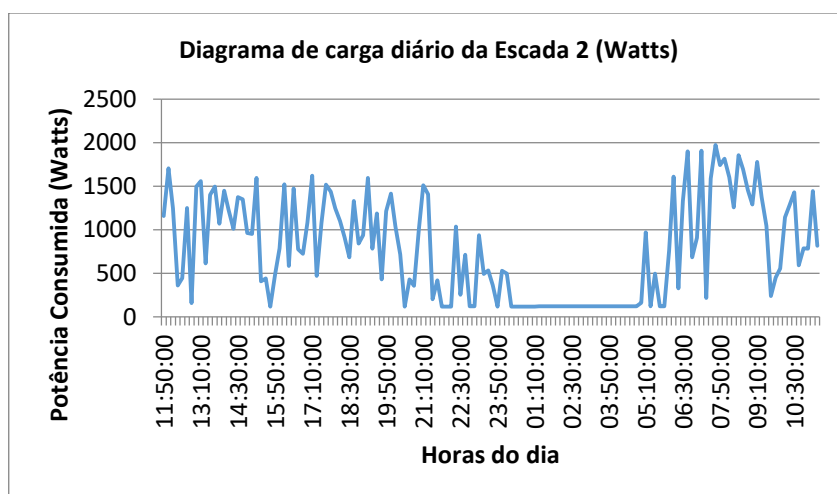


Figura 19-Diagrama de carga diário da escada 2 (descendente)

Recorrendo à análise das duas figuras anteriores pode-se concluir que a altura do dia para a qual as escadas estão sujeitas a uma maior carga (maior consumo), por aumento da quantidade de passageiros na estação, é de manhã, entre as 6h10m e 9h30m, devido ao facto de muitas pessoas utilizarem o meio de transporte ferroviário para se deslocarem para o trabalho. Entre as 16h00m e as 20h00m existe também um consumo maior, mas devido ao retorno da atividade laboral. No que faz referência ao período de maior inatividade, é possível constatar que este encontra-se entre as 0h00m e as 5h00m, no qual as escadas permanecem no seu estado *Auto Start*, aguardando a presença de novos passageiros na plataforma dos extremos (através de sensores de movimento), para voltar a atingir a sua velocidade nominal.

Também é possível verificar através dos gráficos anteriores que no geral, o consumo para a escada 1 é superior ao da escada mo 2, pelo facto de ser necessário produzir um binário mais elevado para o caso em que a escada tem de atuar no sentido ascendente. De forma a tentar minimizar esta diferença entre consumos de escadas adjacentes, que atuam em sentidos contrários, têm sido desenvolvidas algumas soluções que envolvem a utilização de variadores de frequência com do de frenagem regenerativa. Geralmente, uma escada mecânica que funciona no sentido descendente, à plena carga, necessita de dissipar a energia resultante da frenagem sob a forma de calor em resistências apropriadas. No entanto, com a utilização de variadores com modo de frenagem regenerativa, é possível aproveitar essa energia elétrica resultante do funcionamento da máquina como gerador e fornecê-la à escada adjacente que atua no sentido de subida, de forma a atenuar os picos de

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

consumo e possibilitar uma maior economia de energia. Este tipo de solução dependerá do perfil de utilização diário do equipamento, devendo ser instalado apenas em locais cujos padrões de tráfegos sejam elevados, permitindo que efetivamente a máquina entre no modo regenerativo. Não obstante, a utilização de variadores de frequência será sempre um acréscimo à eficiência da máquina de tração, reduzindo a corrente tanto no movimento de subida, como de descida. Ao longo dos últimos anos a Schmitt Elevadores tem introduzido este tipo de sistema regenerativo em alguns equipamentos da sua carteira de manutenção.

Relativamente ao possível problema enunciado anteriormente, para a escada 2, através da observação do diagrama referente a essa mesma escada, não é possível detetar qualquer evidência de um funcionamento anómalo.

Quanto ao que diz respeito aos valores médios e máximos da  $\tan \phi$  registados para os quatro equipamentos, obteve-se:

*Tabela 27-Valores máximos e médios da  $\tan \phi$ , obtidos segundo o aparelho de medição, para 24 horas de monitorização das quatro escadas estudadas*

Escada	Escada 1		Escada 2		Escada 3		Escada 4	
$\tan \phi$	Valor máximo	Valor médio	Valor máximo	Valor médio	Valor máximo	Valor médio	Valor máximo	Valor médio
	3,241	0,88	3,097	0,828	1,705	0,48	1,677	0,665

Os aparelhos elétricos indutivos, como o caso das máquinas de tração destas escadas mecânicas, quando alimentados a corrente alternada, estão sujeitos à criação de um campo magnético interno provocado pela passagem da corrente nos seus enrolamentos. Esta energia que se encontra armazenada sob forma de campo magnético, tende a contrariar a variação da intensidade da corrente, criando um atraso da mesma em relação à tensão. Por este motivo, existe uma parte da corrente que não contribui para a realização de trabalho útil, havendo a produção de energia reativa, que aumenta as perdas no local da instalação e na rede de distribuição, sendo necessário efetuar o controlo sob a mesma.

Desta forma, em determinadas condições e conforme o estipulado no sistema tarifário, a energia reativa deve ser faturada em escalões de Média, Alta, Muito Alta Tensão e Baixa Tensão Especial, segundo as condições de faturação da Energia Reativa que constam do Despacho n.º 7253/2010. Segundo este despacho, a faturação deve ter em consideração o

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

valor do consumo reativo medido fora das horas em vazio e o respetivo preço aplicável<sup>25</sup>, contemplando a existência de três escalões classificados segundo o valor da tangente de Phi dada pelo quociente entre a energia reativa e ativa medidas num dado período de tempo [30].

*Tabela 28-Escalões e fatores multiplicativos segundo o Despacho nº 7253/2010 relativamente ao consumo de energia reativa [30]*

Escalão	Descrição	Fator multiplicativo
Escalão 1	Correspondente a $\tan \phi$ superior ou igual a 30 % e inferior a 40 %	0,33
Escalão 2	Correspondente a $\tan \phi$ superior ou igual a 40 % e inferior a 50 %	1,00
Escalão 3	Correspondente a $\tan \phi$ superior ou igual a 50 %	3,00

Posto isto, o ideal das instalações elétricas seria obter um fator de potência resistivo onde a  $\tan \phi$  fosse inferior ou igual a 0,3, evitando o consumo de energia reativa da rede elétrica e possíveis indemnizações. No entanto, na prática isso é impossível quando se utilizam cargas indutivas, havendo a necessidade de se recorrer muito frequentemente à instalação de baterias de condensadores para fornecer a energia reativa requisitada pelas cargas. Considerando as premissas evidenciadas e uma análise à Tabela 27, obtém-se que, principalmente para o caso das escadas 1 e 2, o valor médio de  $\tan \phi$  é bastante superior a 0,3 (0,88 e 0,828), pelo que é importante corrigir este aspeto e reduzir o valor para mais próximo deste limite, através da utilização de baterias de condensadores. Já relativamente às escadas 3 e 4, é relevante enunciar que a instalação elétrica em causa está dotada de baterias de condensadores para compensação do fator de potência, pelo que tal facto ajuda com que neste caso o valor de  $\tan \phi$  seja relativamente próximo a 0,3, apesar de, mesmo assim, dever-se corrigir o fator de potência.

### **3.2 Desenvolvimento do simulador e estruturação**

Tal como foi dito no capítulo 2.4.1, a ausência de um *software* que auxilie os técnicos responsáveis pelas certificações energéticas das escadas mecânicas e tapetes rolantes na realização de cálculos e na otimização do tempo de publicação do certificado de desempenho energético, era um dos problemas que se pretendia colmatar, através do desenvolvimento de uma aplicação informática que permitisse facilitar todo este processo,

<sup>25</sup> Este preço resulta da aplicação de um fator multiplicativo ao preço de referência de energia reativa indutiva, que é publicado anualmente com as tarifas de acesso às redes.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

à semelhança do simulador de desempenho energético de elevadores criado pelo SEEP (Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos) que através da parte 1 e 2 da norma ISO 25745 calcula o desempenho energético de elevadores, obtendo a respetiva classe energética e a estimativa do consumo anual de energia. Deste modo, o desenvolvimento do novo simulador procura guiar os técnicos por um conjunto de procedimentos e modelos matemáticos, baseados nas partes 1 e 3 da norma ISO 25745 e na EN 115:1995, oferecendo ferramentas que permitem simplificar o cálculo do consumo energético e classificação energética de escadas mecânicas e tapetes rolantes e a publicação dos respetivos relatórios.

Quanto à linguagem de programação escolhida para a aplicação informática criada optou-se pela VBA-*Visual Basic for application*, linguagem de programação utilizada nos programas do Office que permite explorar e automatizar todos os elementos de trabalho do Excel. Assim, foi possível construir um simulador de fácil utilização e compreensão por parte do técnico responsável pela certificação e com uma interface atrativa, filtrando alguns elementos que pudessem dificultar a tarefa do utilizador, uma vez que grande parte do processador do programa é dependente de um conjunto de modelos matemáticos de suporte e tabelas em folhas Excel baseadas na Parte 3 da ISO 25745.



Figura 20-Menu principal do simulador de cálculo concebido



## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

A aplicação informática está estruturada, esta divide-se essencialmente em três partes:

1.<sup>a</sup>Parte, onde o utilizador insere os *inputs*, ou dados relativos às principais características técnicas da escada mecânica ou tapete rolante e do local de instalação;



Figura 21-Userform inicial, para preenchimento de dados relativos à localização do equipamento e dono do mesmo

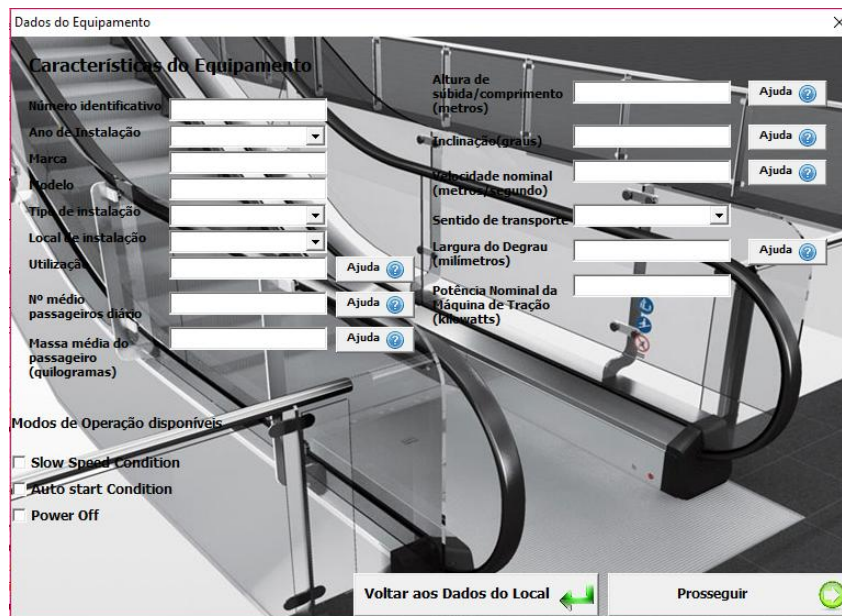


Figura 22-Userform para preenchimento das principais características técnicas do equipamento

2.<sup>a</sup> Parte, onde o utilizador selecciona o tipo de cálculo que pretende efetuar no programa (consumo energético ou classificação energética) e onde serão processados os dados introduzidos, recorrendo aos modelos matemáticos de suporte da norma ISO 25745;

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética



Figura 23-Userform com menu que apresenta as opções do tipo de cálculo que é desejado fazer

3.ªParte, onde são facultados ao utilizador os *outputs* do programa, ou seja, um relatório final com um conjunto de informações relativas quer ao cálculo do consumo energético, quer à certificação energética do equipamento em estudo e respetiva classe, dependendo da escolha do utilizador.

**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

**Simulador de cálculo de Desempenho energético de Escadas Mecânicas e Tapetes Rolantes**

**Relatório de Certificação Energética de Escada Mecânica**

Dados do Local

Morada	Estação de Caminhos de ferro da Trofa
Localidade	Trofa
Cliente	Infraestruturas de Portugal
Contacto	707 500 501

Dados do Equipamento

Número Identificativo	1234	Modelo	Escada Mecânica
Ano de Instalação	2010		
Marca	Mp Ascensores		
Localização	Indoor		
Utilização	Estação ferroviária		
Inclinação (Graus)	30	Velocidade nominal (m/s)	0,5
Nº médio Passageiros	6750	Altura Subida/Comprimento(m)	6,686
Massa média do Passageiro (kg)	75	Potência nominal máquina (kW)	7,5
Sentido de transporte	Ascendente		
Largura do degrau (mm)	800		

Cálculo do Desempenho Energético

Potência de referência	2,89	kW	
Potência específica	2,282	kW	
Relação Desempenho Energético	79,10	%	Correspondente à Classe <b>B</b>

Medições

Tipo de Equipamento	Analizador de energia	Data de medição	5-12-2017
Marca	Chauvin Arnoux	Horas de medição	10 : 00
Modelo	PEL 103	Técnico responsável	Tiago Oliveira
Nº de Série	1234	Temperatura Local (°C)	15
Data da última manutenção	15-5-2017		

Modos de operação

Power off

Slow speed

Auto start

(Assinatura)

Figura 24-Exemplo de um relatório final para uma certificação energética realizada na aplicação informática



## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

De forma mais detalhada, o simulador funciona da seguinte maneira:

Inicialmente, na abertura do programa, é apresentado o menu inicial, onde o utilizador tem a oportunidade de iniciar uma nova simulação, no botão "Prosseguir", ou de verificar as informações relacionadas com o autor da aplicação e o objetivo da elaboração da mesma (através da opção "Informações"). Se a escolha residir em "Prosseguir", as próximas *Userforms*, "Dados do Local" e "Dados do equipamento", destinam-se, tal como os nomes indicam, à recolha de informações relativas ao local de instalação do equipamento (morada, localidade, cliente e contacto) e a todas as principais características do mesmo (número identificativo, ano de instalação, marca, modelo, tipo de instalação (escada mecânica ou tapete rolante), local de instalação (indoor ou outdoor), utilização (edifício onde está instalado o equipamento), número médio de passageiros diário, massa média do passageiro, altura de subida ou comprimento (dependente de ser uma escada mecânica ou tapete rolante com inclinação diferente de zero ou um tapete rolante horizontal), inclinação, velocidade nominal, sentido de transporte (ascendente, descendente ou horizontal), largura de degrau ou palete, potência nominal da máquina de tração e seleção dos modos de operação disponíveis (*Slow Speed Condition*, *Auto Start Condition* e *Power Off*). Após efetuar o preenchimento dos dados requeridos pelo programa nesta última *Userform*, ao carregar no botão "Prosseguir", se não for detetada alguma introdução errática, o próximo menu a aparecer, o "Menu Escolha", permite ao utilizador escolher o tipo de cálculo que pretende para o equipamento em estudo, quer este seja do "Consumo Energético" ou "Classe Energética". Selecionando a opção "Consumo Energético", o programa apresenta um segundo menu, onde se pode optar por um cálculo de consumo energético para fins de planeamento, ou o chamado "Modelo Teórico" [baseado apenas em valores previstos de perfis de utilização (tempos que são previstos por dia em cada modo de operação disponível no equipamento)], ou um cálculo baseado em medições realizadas no equipamento, o "Modelo Prático", onde o utilizador apenas tem que colocar os resultados de medições de valores de potência reais para cada um dos modos de operação disponíveis no equipamento, bem como a descrição das medições (data e hora da sua realização, técnico responsável e temperatura do local) e do equipamento de medida utilizado (tipo, marca, modelo, número de série e data da última manutenção). Preenchidos estes dados para o "Modelo Prático" e clicando no botão "Prosseguir", a próxima *Userform*, requer que o utilizador saiba o período que o equipamento de transporte

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

despende por dia em cada modo de operação, bem como o tempo total diário com equipamentos auxiliares ativos.

Voltando atrás até ao "Menu Escolha", e selecionando a opção "Classe Energética", o programa apresenta um segundo menu onde se pode optar por um cálculo de classe energética com base em valores específicos fornecidos pelo fabricante, "Modelo por valores específicos", ou com base em valores reais através do "Modelo por medições", que, tal como o "Modelo Prático" para o cálculo do consumo energético, requer que o utilizador utilize o equipamento de medida para registar a potência do equipamento quando sem carga ao fim de 3 voltas ( $P_{no\ load}$ ), bem como a descrição das medições e do equipamento de medida (mesmos dados que na opção "Modelo Prático" para o cálculo do consumo energético).

Após o preenchimento, o programa apresenta uma *Userform* final onde, quer para o cálculo de consumo energético, quer para o cálculo da classe energética, existe a opção "Calcular Classe" ou "Calcular Consumo", respetivamente, que permite realizar o processamento da informação recolhida e apresentar o resultado final da simulação nesse mesmo menu final, com a opção de publicação de um relatório final de resultados para impressão.

Outra informação importante a reter acerca da aplicação informática criada é que em todos os menus existe a possibilidade de voltar ao menu anterior para corrigir ou verificar dados que foram inseridos anteriormente, havendo ainda a possibilidade de no menu "Dados do Local" realizar uma nova simulação através da opção "Executar nova Simulação", onde todos os dados inseridos nas *Userforms* seguintes são apagados de forma a poder inserir todos os dados de novo.

Para uma maior compreensão do formato que este *software* detém, apresenta-se de seguida um fluxograma, onde são representados os vários percursos que podem ser percorridos pelo utilizador no programa, desde o início até à obtenção dos resultados finais.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

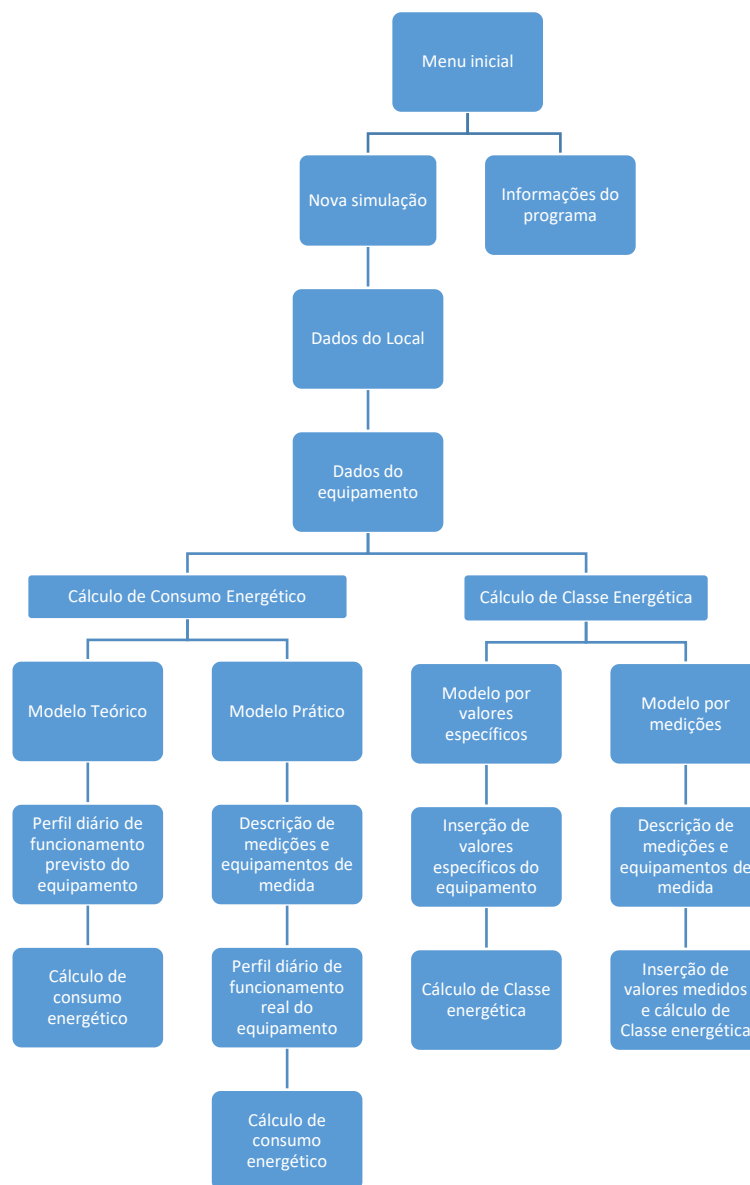


Figura 25-Fluxograma de processos do simulador

Outra particularidade da aplicação informática concebida é a forma como auxilia o utilizador no preenchimento dos dados necessários para efetuar a simulação de resultados. Para auxiliar, foram criados botões de ajuda, com a simbologia "?", nos campos de preenchimento passíveis da existência de dúvidas, tentando desta forma facilitar a compreensão do programa. Este tipo de ajuda não só explica o conceito do campo a preencher, como também pode fornecer valores por defeito para o utilizador considerar no seu equipamento.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

Um dos grandes constrangimentos inerentes a este tipo de programas e que pode causar resultados falaciosos é o erro de preenchimento de dados por parte do utilizador. É bastante frequente que em programas com grande número de *inputs* haja um ou mais erros involuntários cuja aceitação do valor por parte do programa conduz a erros que influenciam o resultado. Tendo este aspeto em consideração, na elaboração do programa foram previstos e testados alguns erros típicos e involuntários, cometidos durante a introdução de dados, tentando-se corrigir este tipo de problema, através da elaboração de uma série de procedimentos que não permitem avançar a simulação caso haja ausência de algum valor, ou o mesmo esteja fora dos limites normais ou até fora do contexto do que é pedido (exemplo: não avançar na simulação caso o utilizador não tenha preenchido algum dado ou caso tenham sido ultrapassados alguns limites legais da norma ISO 25745 ou EN 115:1995), emitindo um alerta através de uma caixa de mensagem ao utilizador a identificar o problema encontrado. Em alguns casos a correção é realizada de forma automática e instantânea sem que seja emitido um alerta (exemplo de introdução de texto em espaços para números, introdução de vírgulas em espaços com valores numéricos inteiros ou introdução de valores negativos em espaços para valores positivos). Com este tipo de processos, espera-se que a aplicação informática se sobreponha a este tipo de erros, para que possa gerar valores finais o mais precisos quanto possível.

### **3.3 Validação do simulador**

Neste caso em concreto, o simulador foi validado com base na parte 1 e 3 da norma ISO 25745, utilizando os valores medidos apenas na primeira das quatro escadas mecânicas que foram alvo de auditoria.

Para efetuar a validação do *software*, resolveu-se calcular através do mesmo, a classe de eficiência energética com base no modelo prático e o consumo energético com base no modelo por medições para a escada mecânica 1. No final, foi possível comparar os resultados simulados com os resultados calculados manualmente, segundo o formulário fornecido na norma ISO 25745.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

Posto isto, obtiveram-se os resultados da Tabela 29:

*Tabela 29-Resultados para a validação do simulador*

Tipo de Cálculo	Variáveis	Valores obtidos no cálculo manual	Valores obtidos no Simulador <sup>26</sup>
Classificação energética (modelo por medições)	$P_{no\ load\ handrail}$ (kW)	1,456	1,46
	$P_{no\ load\ step/ballet}$ (kW)	1,029	1,03
	$P_{no\ load\ control}$ (kW)	0,4	0,4
	$P_{no\ load\ ref}$ (kW)	2,885	2,89
	Desempenho energético(%)	79,099	79,1
	Classe energética	B	B
Consumo Energético (modelo prático)	$E_{standby}$ (W/h)	0	0
	$E_{autostart}$ (W/h)	1056	1056
	$E_{no\ load}$ (W/h)	12551	12551
	$E_{vlow}$ (W/h)	7650	7650
	$E_{load}$ (kW/h) (Ascendente)	13,36	13,36
	$E_{load}$ (W/h) (Descendente)	0	0
	$E_{main}$ (W/h) (Ascendente)	21270,36	21270,36
	$E_{main}$ (W/h) (Descendente)	21257	21257

Quanto ao que diz respeito ao modelo teórico para o cálculo do consumo energético e modelo por valores específicos, para o cálculo da classe energética, uma vez que este tipo de processo destina-se essencialmente a uma fase de planeamento e baseia-se na utilização de procedimentos mais teóricos, a validação foi realizada de acordo com o equipamento presente no Anexo A.2 da parte 3 da ISO 25745 e segundo o ponto 5.3 da mesma<sup>27</sup>, respetivamente.

<sup>26</sup> Os valores da tabela dizem respeito aos que são fornecidos ao utilizador pelo simulador, estando os mesmos arredondados às centésimas.

<sup>27</sup> Este ponto diz que para o cálculo da potência de referência, necessário para chegar ao valor da relação desempenho energético do equipamento, pode ser utilizado um método de cálculo baseado em valores específicos dados pelo fabricante, ou através da medição direta da potência. No caso da escada 1, não foi possível obter os dados do fabricante, pelo que foi apenas realizada a medição da potência através de um analisador de energia.



## **4 Impacto de medidas de eficiência energética na certificação energética de elevadores**

Neste capítulo propõe-se como objetivo realizar uma sucinta análise a uma base de dados referente a 145 certificações energéticas realizadas a um conjunto de elevadores instalados em locais destinados a serviços públicos, tentando identificar e alertar para possíveis problemas relacionados com a falta de eficiência energética destes equipamentos e perceber o impacto que certas medidas de atualização podem ter na classificação energética final de um elevador.

Como este estudo aborda equipamentos já existentes, considera-se que não será relevante realizar a análise para investimentos que envolvam grandes remodelações, como por exemplo, a substituição de um quadro de comando, a alteração do método de controlo de velocidade para regulação por VVVF, a alteração da máquina de tração ou do tipo de suspensão. Antes de analisar grandes soluções, é necessário ter em consideração que o re-comissionamento ou pequenos *upgrades* do elevador, podem levar a poupanças de energia significativas e que são facilmente retornáveis, como se verificar-se-á posteriormente.

Numa breve análise ao conjunto de relatórios de certificações energéticas de elevadores, pertencentes às quatro primeiras categorias de utilização, disponibilizados pela Schmitt Elevadores, foi possível concluir de forma geral que, na amostra de 145 elevadores, 97 de tração elétrica e 48 hidráulicos, a classe energética predominante era a D, com 48,3 % da amostra total, seguida da classe C, com 36,6 %, E, com 8,3 % e B, com 6,9 %, lembrando que esta última corresponde desde 31 de dezembro de 2015, segundo a Portaria 17-A/2016 de 4 de fevereiro, à classe energética mínima obrigatória para elevadores novos a ser instalados, o que significa que apenas 10 dos elevadores estudados, estariam aptos a ser instalados atualmente. De realçar também que nenhum dos elevadores possui a classe A.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

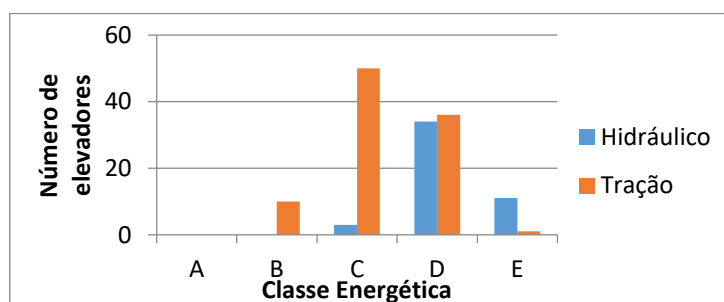


Figura 26-Gráfico de distribuição das classes de eficiência energética pela respetiva tecnologia de elevador

Segundo o gráfico da Figura 26 e no que diz respeito à distribuição do tipo de tecnologia de elevador pelas classes energéticas, foi possível verificar que grande parte dos elevadores do tipo hidráulico pertence à classe D (70,8 % da amostra de elevadores hidráulicos), enquanto que para os de tração elétrica a classe predominante é a C, com 58,5 % da amostra de elevadores desta tecnologia.

Também é interessante referir que nas classes de eficiência energética superiores à classe D, existem na sua maioria elevadores do tipo de tração (60 elevadores), sendo raro encontrar elevadores da tecnologia hidráulica nestas classes (apenas 3 elevadores). Esta conclusão ajuda a argumentar que os elevadores do tipo de tração elétrica geralmente são mais eficientes do que os hidráulicos. Esta tese também pode ser apoiada, quando se estuda o caso da pior classe de eficiência encontrada, a classe E, onde existem mais elevadores do tipo hidráulico (10 elevadores) para apenas um do tipo tração elétrica.

Quanto aos valores máximos e mínimos registados para a potência e para os consumos energéticos baseados na parte 2 da norma ISO 25745, obtiveram-se os valores da Tabela 30:

Tabela 30-Valores máximos e mínimos de consumos de energia e potência standby para os elevadores em análise

Características do elevador	Valor	Observações	Classe Energética
<b>Maior consumo de energia em manobra</b>	19,58 mWh/(kg·m)	Hidráulico de 630kg do ano 2004	D
<b>Maior potência standby</b>	498 W	Tração de 1950kg do ano 2002	D
<b>Menor consumo de energia em manobra</b>	0,75 mWh/(kg·m)	Tração de 2400kg do ano 2002	C
<b>Menor potência standby</b>	9,82 W	Tração de 450kg do ano 1975	C
<b>Maior consumo de energia diário</b>	23231 Wh	Tração de 1600kg do ano 2005	D
<b>Menor consumo de energia diário</b>	1433 Wh	Tração de 450kg	C



## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Os dados obtidos na Tabela 30, permitem fundamentar o que foi referido nos capítulos 2.2.2 e 2.2.3 acerca das tecnologias estudadas. Através do estudo deste quadro, foi possível obter as seguintes conclusões:

1. Sem surpresa, o elevador com maior consumo de energia em manobra, foi um elevador hidráulico de 630 kg e o de menor consumo foi um de tração elétrica de 2400 kg, comprovando a teoria de que os elevadores hidráulicos são menos eficientes do que os de tração elétrica. Tal facto deve-se à viagem no sentido ascendente obrigar à compressão do fluido hidráulico e envio para o pistão, provocando um consumo de energia bastante relevante neste processo enquanto que, no elevador de tração elétrica, a existência de um contrapeso ajuda a minimizar a força necessária para movimentar a cabina;
2. O elevador com maior potência *standby* foi um do tipo tração elétrica de 1950 kg do ano 2002, enquanto que o de menor potência *standby* foi, surpreendentemente, um de tração elétrica de 450 kg de 1975. Isto explica-se pelo facto da introdução da eletrónica e de circuitos em *standby* nos recentes elevadores de tração elétrica fazer com que estes consumam maior potência quando inativos do que os elevadores mais antigos desta tecnologia e do que os atuais hidráulicos, cujo sistema baseia-se essencialmente no funcionamento de relés e contactores (sistema *on/off*). Apesar de tudo, há que realçar que a evolução verificada ao longo dos últimos anos na eletrónica e a introdução do controlo de velocidade por VVVF veio aumentar significativamente o conforto da viagem, a precisão de paragem e até mesmo a segurança. Também é importante referir que, para o caso do elevador com maior potência *standby*, pelo facto de se tratar de um elevador de grandes dimensões, também deve ser analisado o peso da componente de iluminação, pois uma possível ineficiência deste sistema pode estar a comprometer o desempenho energético deste elevador, quando em repouso. No capítulo 4.1.2, o sistema de iluminação deste elevador e de outros cinco serão analisados para estudar eventuais soluções de melhoria.
3. Quanto ao consumo energético diário, numa sucinta análise, verificou-se que o elevador mais consumidor faz referência a um do tipo tração elétrica de 1600 kg, enquanto que, aquele que consome menos é um de 450 kg, também da mesma tecnologia. O consumo de energia diária envolve o consumo do elevador em viagem e o consumo aquando em repouso, pelo que a combinação de ambos resulta no valor total diário. Este valor não

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

pode servir como comparação entre tecnologias diferentes, sendo que esta apenas pode ser feita após a normalização dos valores do consumo de energia.

O gráfico da Figura 27, permite obter a distribuição dos diferentes tipos de elevador da base de dados, pela respetiva velocidade nominal.

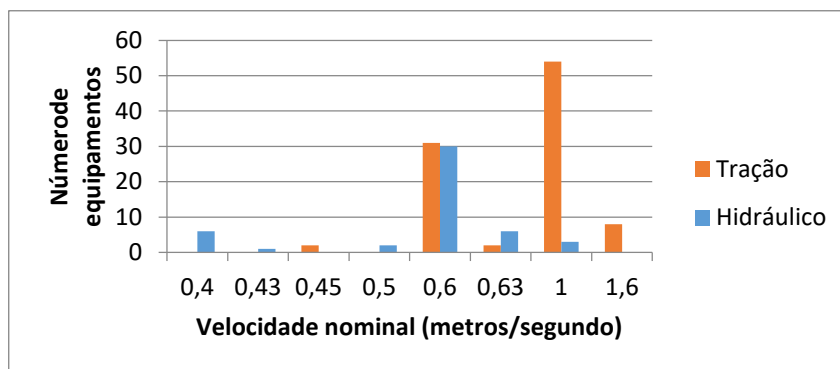


Figura 27-Distribuição dos elevadores da amostra total pela sua velocidade nominal

Através da análise deste último gráfico, é possível verificar que 61 dos elevadores utilizados (42,1 % da amostra total) apresentam uma velocidade nominal de 0,6 m/s, dos quais 31 são de tração elétrica e 30 são do tipo hidráulico, enquanto que a segunda velocidade mais utilizada é a de 1 m/s, com 57 elevadores (39,3 % da amostra total), dos quais 54 são de tração elétrica e 3 são hidráulicos. Esta última observação permite salvaguardar o que foi introduzido nos capítulos 2.2.2 e 2.2.3, onde foi enunciado que os elevadores de tração elétrica são frequentemente utilizados para aplicações que necessitam de velocidades superiores, enquanto que os hidráulicos são normalmente desenvolvidos para velocidades inferiores e para servir cargas nominais superiores.

Relativamente à carga nominal, o gráfico da Figura 28, distribui os diferentes tipos de elevadores envolvidos no estudo, pela respetiva carga para a qual foram dimensionados.

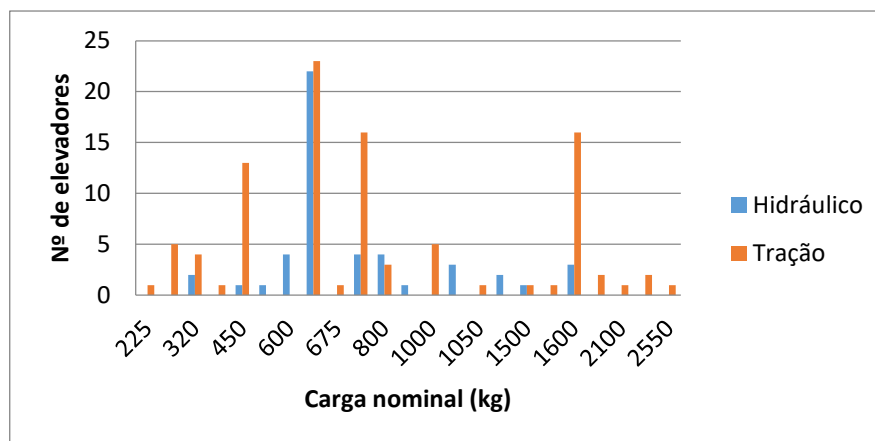


Figura 28-Distribuição dos elevadores da amostra total pela sua carga nominal

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Neste último gráfico, ao contrário do que foi concluído para a questão da velocidade nominal, não pode ser comprovada a teoria de que os elevadores hidráulicos são geralmente utilizados para maiores cargas nominais. Esta desconformidade, no entanto, pode ser facilmente elucidada pelo facto dos elevadores da base de dados obtida, pertencerem a locais com vários pisos, onde o fluxo de tráfego é bastante elevado e como tal, ser necessária a utilização de elevadores mais rápidos, de forma a fluir melhor o trânsito de passageiros, como é o caso dos de tração elétrica. Por conseguinte, o essencial da análise do gráfico da Figura 28 é que a carga nominal mais utilizada para os elevadores é de 630 kg, com 45 elevadores (31,0 % da amostra total), dos quais 23 são de tração elétrica e 22 do tipo hidráulico.

### **4.1 Hipóteses de aumento da eficiência energética nos elevadores**

#### **4.1.1 Hipótese 1-Otimização do valor do contrapeso**

Tal como referido no capítulo 2.2.2, é prática habitual na indústria dos fabricantes de elevadores de tração elétrica dimensionar o contrapeso de forma a contrabalançar a massa da cabina em mais 50 % da sua carga nominal. Por exemplo, num elevador de carga útil de 630 kg e um peso de 850 kg, o contrapeso terá uma massa de 1165 kg. Uma vez que o objetivo do contrapeso passa por diminuir a carga sobre o sistema de acionamento, isto significa que a menor quantidade de energia consumida irá ocorrer quando a cabina transportar metade da sua carga nominal, valor para o qual existe um equilíbrio entre ambas as massas interligadas pelos cabos de suspensão. O grande problema inerente ao dimensionamento do contrapeso para 50 % da carga nominal é que existem numerosos elevadores com grande capacidade de carga, mas cujo número reduzido de passageiros leva a que a carga média seja muitas vezes inferior a 50 %, não descartando ainda o facto de, frequentemente, viajarem com a cabina vazia. Muito frequentemente, o grau de ocupação normal médio da cabina representa apenas 20 % da carga nominal e, como tal, existe um desequilíbrio de massas que cria uma carga considerável sobre o sistema de acionamento, mas que não apresenta qualquer utilidade, uma vez que apenas serve para movimentar a grande massa do contrapeso [31].

Tendo em conta este panorama, é lançada a questão da otimização da massa do contrapeso e se existe necessidade de adaptar a massa deste componente do elevador ao perfil diário

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

de tráfego do edifício, de modo a que se consiga atingir uma maior poupança a nível energético. Posto isto, e recorrendo a uma série de testes realizados num elevador de tração elétrica de referência já existente, procurou-se estudar este tópico através da realização de uma análise ao comportamento energético do elevador na viagem de referência e de ciclo curto para diferentes cargas de contrapeso e com a cabina vazia, procurando seguir as metodologias de medição e cálculo da norma ISO 25745 e analisando o impacto deste tipo de alterações na massa do contrapeso na classificação energética final obtida para o elevador. O elevador utilizado neste estudo dispõe das seguintes características:

Ano de instalação	1997
Categoria de utilização	2
Tecnologia	Tração elétrica
Carga nominal	300 kg
Contrapeso	Sem informação disponível
Velocidade	1 m/s
Aceleração	1 m/s <sup>2</sup>
Jerk	3,415 m <sup>3</sup> /s
Distância do ciclo referência	15,33 m
Distância do ciclo curto	6,1 m
Número de Pisos	6
Sistema de Iluminação da cabina	2 luminárias do tipo <i>Downlight</i> LED a 12 Volts contínuos e com potência individual de 4,5 Watts

*Figura 29-Quadro de características principais do elevador utilizado para o estudo da hipótese de otimização do contrapeso*

De acordo com o quadro da Figura 29 é possível verificar que não existe qualquer informação relativa à massa do contrapeso do elevador, pelo que houve a necessidade de realizar um teste exclusivo para apurar o respetivo valor. Devido à carência de instrumentos de pesagem decidiu-se aplicar um método indireto para o cálculo do contrapeso que consiste, essencialmente, em ajustar a carga da cabina, até que o valor da potência total consumida pelo elevador na subida e na descida seja a mesma, sinal de que o sistema encontrou o ponto de equilíbrio, onde a massa total da cabina iguala o valor da massa do contrapeso. Assim que este equilíbrio for atingido, considera-se que o contrapeso está a contrabalançar a massa da cabina, mais a carga que foi colocada na mesma, em percentagem da carga nominal.

Na Figura 30 estão representados três ciclos para a viagem de referência do elevador que foi utilizado neste estudo. Devido ao facto de haver limitações no tempo que o elevador poderia estar restringido ao público, considerou-se que seria suficiente a realização de três ciclos. Cada viagem de referência começa por ser realizada no piso mais inferior, com a porta de cabina fechada e em seguida o elevador é chamado para o piso mais superior,

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

fazendo o habitual ciclo de porta e regressando no final ao piso inferior para realizar o último ciclo de porta.

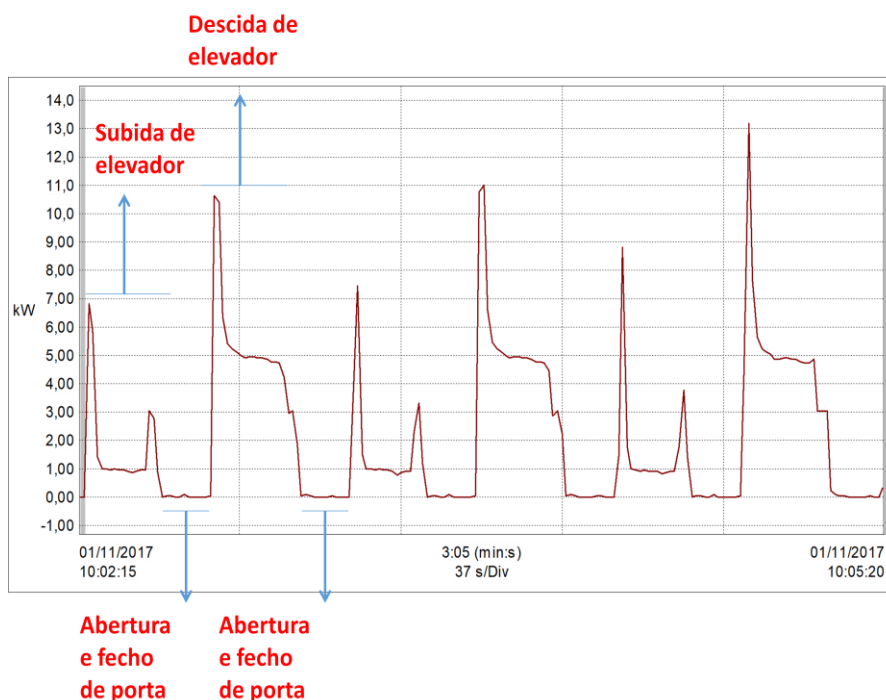


Figura 30- Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos de referência

Através da análise do gráfico da Figura 30, tal como era espectável, é possível constatar que o elevador consome menos energia na sua deslocação no sentido ascendente, devido ao facto do contrapeso ser mais pesado do que a cabina e, como tal, auxiliar a máquina de tração no movimento de subida, reduzindo o binário motriz necessário.

A energia total consumida por este elevador nos três ciclos de referência foi obtida através do *software* Data View para análise de relatórios criados pelo programa que realiza a interface entre o equipamento analisador de energia e o computador, o PEL da Chauvin Arnoux. A energia consumida é dada a partir do integral numérico dos valores de potência  $P$  do gráfico obtido pelo analisador de potência entre os instantes  $t_0$  e  $t_1$ , de acordo com a seguinte equação:

$$E = \int_{t_0}^{t_1} P * dt \quad (3.1)$$

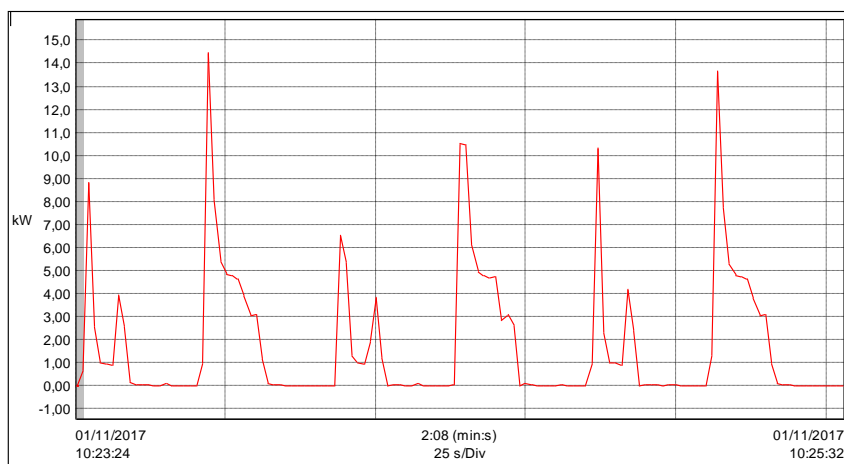
Assim, desta forma, obteve-se que a energia total consumida no final do terceiro ciclo foi de 113,8 Wh, sendo necessário descontar a esse valor a energia consumida pela iluminação da cabina nesse período, que foi 0,46 Wh, (resultado da multiplicação da potência dos dois

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

pontos de luz do tipo LED de 4,5 W de potência cada, por aproximadamente 185 segundos despendidos nas viagens), resultando num total de 113,34 Wh consumidos no final dos três ciclos. Dividindo o valor obtido pelo número de ciclos realizados, obteve-se a média da energia consumida num só ciclo de referência, que resultou no valor de 37,78 Wh.

Quanto aos valores de potência obtidos ao longo dos três ciclos verificou-se que a média foi de 2,20 kW, o pico máximo 13,19 kW, atingido no início do movimento de descida da cabina no terceiro ciclo e o pico mínimo atingido 0,017 kW, momentos antes do elevador iniciar a descida da cabina, ainda a meio do segundo ciclo. Após atingida a velocidade nominal, é possível concluir que na subida o valor da potência consumida ronda em média 0,869 kW, enquanto que na descida o valor anda próximo dos 4,980 kW, ou seja é aproximadamente seis vezes maior do que o consumo à subida.

Quanto ao ciclo curto, considerou-se que o mesmo consistia numa deslocação desde o piso mais inferior até a um piso cuja distância de viagem está situada entre 1/4 e 1/2 do curso total do elevador (o curso total é de 15,33 metros) e onde fosse possível o elevador atingir a sua velocidade nominal. Sabendo isto, foi realizado um novo teste semelhante ao realizado para o ciclo referência, mas desta vez para um curso inferior de 6,1 metros, obtendo-se o seguinte gráfico da Figura 31.



*Figura 31-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos curtos*

Assim como na viagem do ciclo de referência, o elevador consome menos na sua deslocação ascendente, com um valor da potência a rondar 1,013 kW na subida, enquanto que na descida o valor anda próximo dos 4,754 kW, ou seja, existe quase cinco vezes mais consumo na descida do que na subida, apesar de no caso da realização deste ciclo curto, os

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

valores de potência não se conseguirem manter por muito tempo estáveis (à velocidade nominal), devido ao facto da viagem ser bastante mais breve do que a do teste anterior.

A energia total consumida por este elevador no final do terceiro ciclo foi de 64,7 Wh e descontando a esse valor a energia consumida pela iluminação da cabina nesse período, 0,32 Wh, (resultado da multiplicação da potência dos dois pontos de luz do tipo LED de 4,5 W cada, por aproximadamente 128 segundos despendidos nas viagens), obtém-se 64,38 Wh consumidos nos três ciclos. Dividindo no final o valor obtido pelo número de ciclos realizados, obteve-se a média da energia consumida num só ciclo de curto, que resultou em 21,46 Wh. Quanto à variação dos valores de potência, durante os três ciclos verificou-se que a sua média foi de 1,81 kW, o pico máximo foi de 14,47 kW, atingido no início do movimento de descida da cabina no primeiro ciclo e o pico mínimo foi 0,019 kW, momentos após o elevador iniciar a abertura de porta da cabina no fim do terceiro ciclo.

Numa última análise ao elevador, nas suas condições normais de funcionamento, realizou-se o registo referente à potência consumida no estado *standby* (primeiro minuto após o fim de um ciclo de referência) e *standby* 5 minutos (um minuto de registo após cinco minutos de inatividade), não havendo interesse na análise do estado *standby* 30 minutos, uma vez que o elevador não possui esse mesmo estado, nem era possível interromper o seu funcionamento por esse período de tempo.

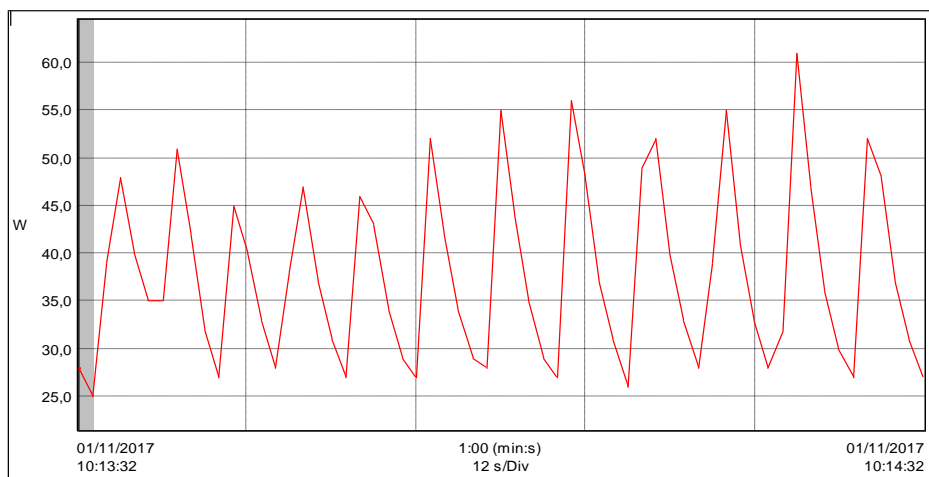


Figura 32-Potência ativa obtida pelo analisador de energia para o primeiro minuto no estado standby

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

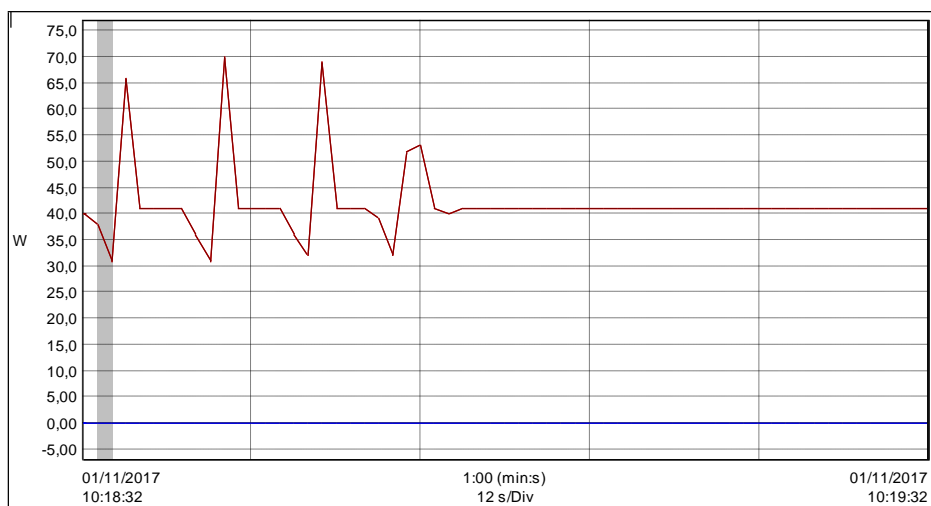


Figura 33-Potência ativa obtida pelo analisador de energia para um minuto no estado Standby 5 minutos

Assim, analisando os registos para estes dois estados, concluiu-se que tanto para o estado *standby*, como para o estado de *standby 5 minutos*, a potência consumida apresenta variações desde os 25 aos 70 W, o que coagiu a utilizar valores médios de potência nesses mesmos períodos. Estas variações de potência estão provavelmente associadas ao processo de carga e descarga dos condensadores da fonte de alimentação do comando do elevador. Por conseguinte, averiguou-se que para o estado *standby* o valor médio da potência foi de 38 W, enquanto que para o *standby 5 minutos* o valor foi 41,82 W, o que significa que não existe praticamente desigualdade entre o modo *standby*, *standby 5 minutos* e *standby 30 minutos*, pelo que o valor para estas três componentes será praticamente o mesmo.

O próximo ponto de trabalho consistiu em analisar o valor atual da massa de contrapeso utilizada e verificar se eventuais alterações desta massa podiam diminuir o consumo energético do elevador em manobra e afetar a classificação energética final do mesmo.

Através da realização de alguns ciclos de referência com diferentes cargas na cabina foi possível concluir-se que o contrapeso encontra-se dimensionado para cerca de 65 % da carga nominal, uma vez que para 195 kg de carga na cabina, o valor da potência total consumida, tanto para a subida como descida, é bastante análogo. Esta semelhança pode ser verificada visualmente na análise ao gráfico da Figura 34, onde é representada a potência consumida pelo elevador ao longo dos três ciclos de referência realizados para uma cabina com 195 kg de carga.



## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

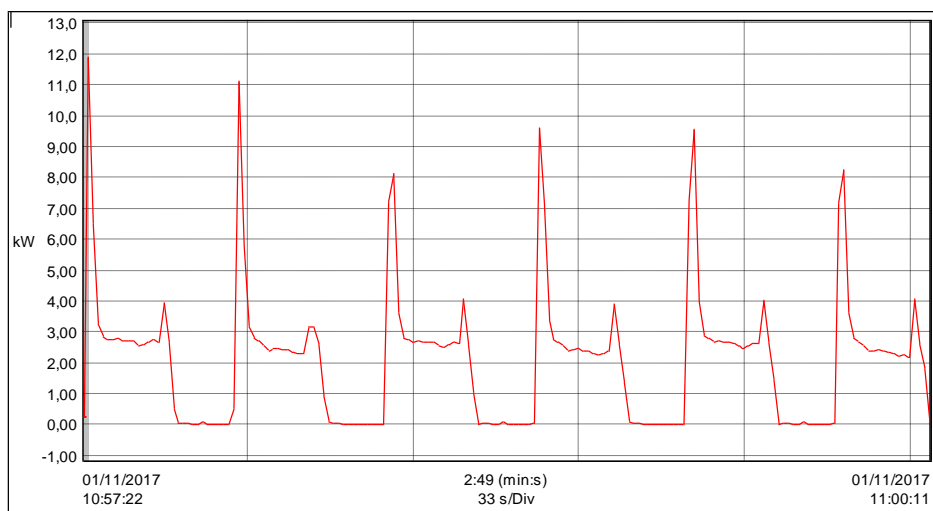


Figura 34-Potência ativa obtida pelo analisador de energia para três ciclos de referência com uma carga de 195 kg

Desta forma, através da utilização deste método indireto, foi possível associar os 195 kg ao valor do contrapeso que excede a massa da cabina e desta maneira ter recursos suficientes para testar duas hipóteses de redução da carga de contrapeso para efetuar uma nova análise ao consumo energético do elevador para o ciclo de referência e ciclo curto. A descrição dos cenários e testes realizados está representada na Tabela 31.

Tabela 31-Descrição de cenários realizados no estudo da otimização do contrapeso

Cenário	Dimensionamento do contrapeso em percentagem da carga nominal (300 kg) (%)	Ações a tomar em relação ao Cenário 0	Ações possíveis
<b>Cenário 0</b> (Situação de referência)	65 % (195 kg)	-	-
<b>Cenário 1</b>	50 % (150 kg)	Redução de 45 kg à massa do contrapeso da situação de referência	Redução de 49,6 kg à massa do contrapeso de referência devido à massa de cada peso.
<b>Cenário 2</b>	40 % (120 kg)	Redução de 75 kg à massa de contrapeso da situação de referência	Redução de 80,6 kg à massa do contrapeso de referência devido à massa de cada peso.

Numa breve análise à Tabela 31, importa referir que devido ao facto de cada peso do contrapeso ter uma massa individual de 6,2 kg não foi possível atingir com precisão os valores de contrabalanço desejados (50 % e 40 %), sendo que para o Cenário 1 o valor exato de contrabalanço estudado foi de 48,5 % e para o Cenário 2 foi de 38,1 %.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

### 4.1.1.1 Análise do Cenário 1 (Contrapeso a 48,5 % da carga nominal)

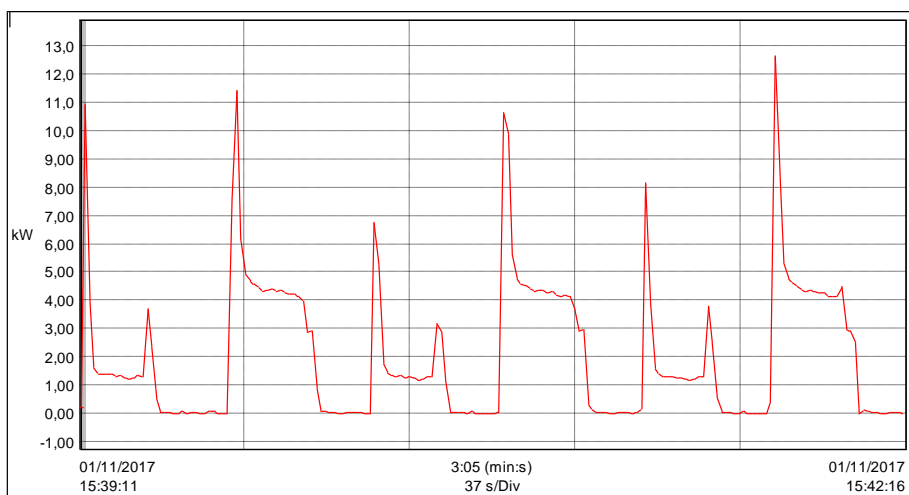
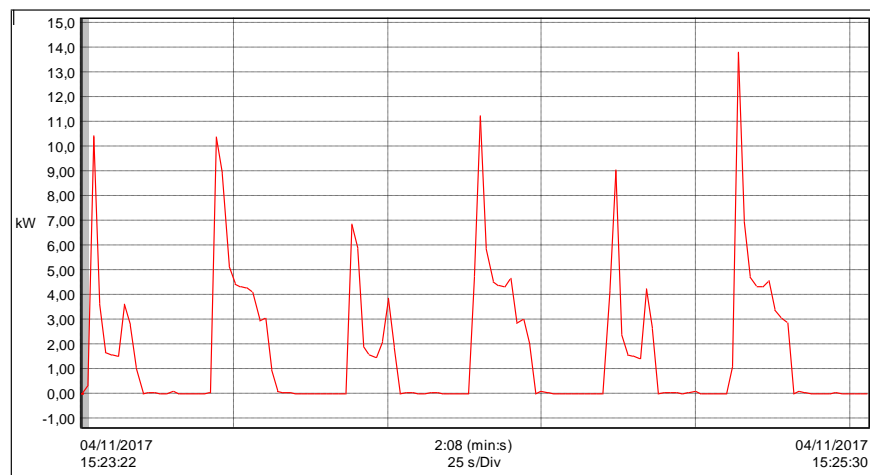


Figura 35-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos de referência para o teste de contrapeso a 48,5 %

Assim como no ciclo de referência do Cenário 0 (gráfico da Figura 30), o elevador consome menos aquando a sua deslocação no sentido ascendente, comparativamente com a deslocação no sentido descendente. Todavia, na subida, o valor da potência para a velocidade nominal aumentou ligeiramente de 0,869 kW para aproximadamente 1,312 kW, enquanto que na descida o valor desceu dos 4,980 kW para cerca de 4,349 kW, devido ao facto da redução efetuada à massa do contrapeso obrigar com que o binário motor a ser produzido à descida seja menor, uma vez que o contrapeso encontra-se mais leve. A energia total consumida pelo elevador no final dos três ciclos de referência, foi obtida da mesma forma que na situação referência e resultou em 107,54 Wh consumidos nos 185 segundos em viagem, já com o desconto da energia consumida pela iluminação. A média da energia consumida num só ciclo de referência resultou neste caso no valor de 35,8 Wh.

Quanto à variação dos valores de potência, durante os três ciclos verificou-se que a sua média foi 2,09 kW, o pico máximo 12,65 kW, atingido no início do movimento de descida da cabina no terceiro ciclo, e o pico mínimo 0,010 kW, momentos após o elevador iniciar a abertura de porta da cabina a meio do segundo ciclo.

Já no que diz respeito à análise do ciclo curto do elevador, obteve-se o gráfico de potência da Figura 36.



*Figura 36-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos curtos para o teste de contrapeso a 48,5 %*

Para a viagem do ciclo curto com o contrapeso a 48,5 % o elevador consome menos aquando a sua deslocação no sentido ascendente, à semelhança da situação referência. Todavia, neste caso, em subida e após estabilizar, o valor da potência ronda 1,594 kW, enquanto que na descida o valor anda próximo dos 4,387 kW, ou seja, houve um aumento de aproximadamente 581 W para a subida e uma redução de cerca de 367 W na descida, relativamente ao Cenário 0.

A energia total consumida por este elevador nos três ciclos curtos foi obtida da mesma forma que as hipóteses anteriores, resultando em 63,08 Wh consumidos nos três ciclos. Dividindo o valor obtido pelo número de ciclos realizados, obteve-se a média da energia consumida num só ciclo de curto, que resultou no valor de 21,02 Wh.

Quanto aos valores de potência, durante os três ciclos verificou-se que a sua média foi de 1,77 kW, o pico máximo 13,81 kW, atingido no início do movimento de descida da cabina no terceiro ciclo, e o pico mínimo 0,017 kW, momentos após o elevador iniciar a abertura de porta da cabina no final do terceiro ciclo.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

### 4.1.1.2 Análise do Cenário 2 (Contrapeso a 38,1 % da carga nominal)

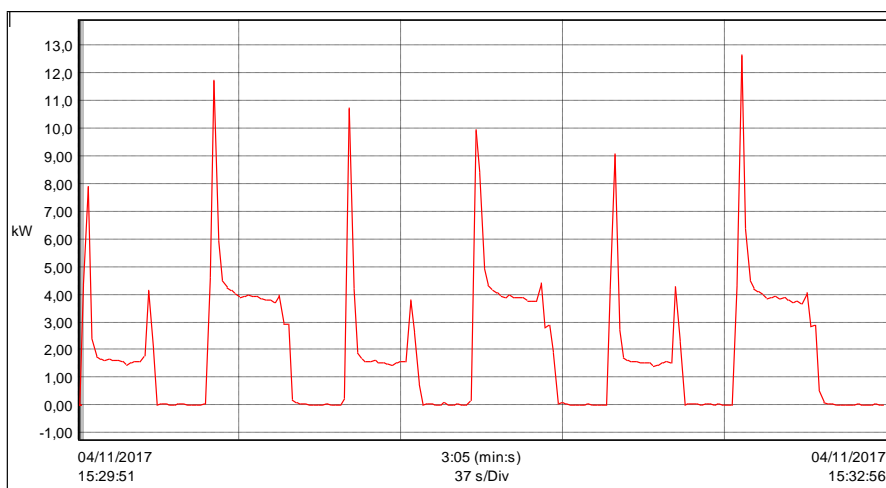


Figura 37-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos de referência para o teste do contrapeso a 38,1 %

À semelhança do Cenário 1, a tendência de o elevador consumir menos aquando a sua deslocação no sentido ascendente, comparativamente com a viagem no sentido descendente mantém-se. Com a redução do contrapeso para 38,1 %, o valor da potência à subida aumentou ligeiramente de 0,869 kW (situação referência) para valores próximos de 1,573 kW, enquanto que na descida o valor desceu de 4,980 kW para cerca de 3,894 kW.

A energia total consumida pelo elevador nos três ciclos de referência resultou em 104,44 Wh, já com o desconto da energia consumida pela iluminação nos 185 segundos despendidos nas viagens, obtendo-se no final a média de 34,81 Wh de energia consumida num só ciclo de referência.

Quanto aos valores da potência, durante os três ciclos verificou-se que a média foi de 2,03 kW, o pico máximo 12,66 kW, atingido no início do movimento de descida da cabina no terceiro ciclo, e o pico mínimo 0,016 kW, momentos após o fecho da porta da cabina a meio do segundo ciclo.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

Relativamente ao ciclo curto, obteve-se o seguinte gráfico de consumo:

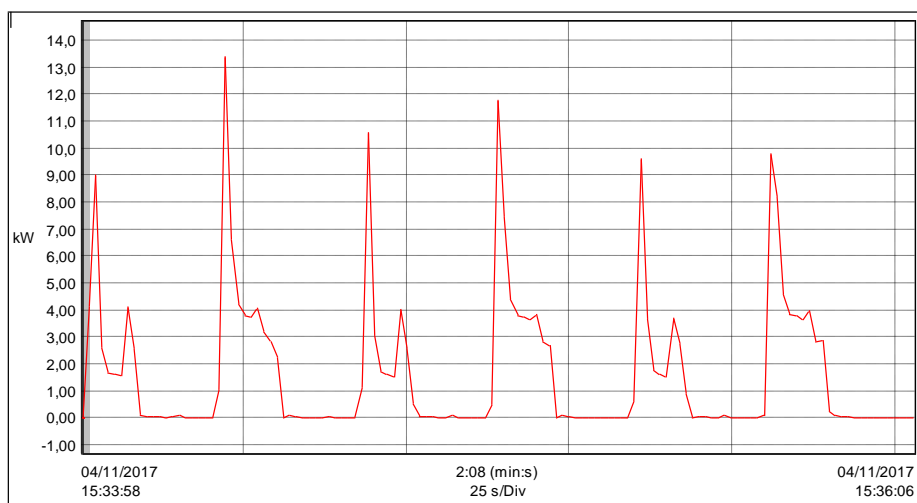


Figura 38-Potência ativa obtida pelo analisador de energia ao longo de três ciclos curtos para o teste de contrapeso a 38,1 %

Segundo o gráfico anterior, no caso do ciclo curto para o Cenário 2, quando o elevador está em fase de subida, após estabilizar, o valor da potência ronda 1,643 kW, 630 W a mais que o ciclo curto do Cenário 0, enquanto que na descida o valor anda próximo dos 3,813 kW, ou seja 941 W a menos que o cenário referência.

A energia total consumida por este elevador nos três ciclos curtos foi obtida da mesma forma que nos cenários anteriores, resultando em 60,08 Wh consumidos nos três ciclos. Dividindo o valor obtido pelo número de ciclos realizados, obteve-se a média de 20,02 Wh de energia consumida para um ciclo curto. Quanto aos valores de potência, durante os três ciclos verificou-se que a sua média foi de 1,69 kW, o pico máximo 13,40 kW, atingido no início do movimento de descida da cabina no primeiro ciclo, e o pico mínimo 0,016 kW, momentos antes do elevador fechar a porta da cabina a meio do primeiro ciclo. No final, após testados todos os cenários, elaborou-se a Tabela 32 com a síntese de resultados:

Tabela 32-Quadro síntese de resultados obtidos para os diferentes Cenários

Cenário	Dimensionamento do contrapeso em percentagem da carga nominal (300 kg) (%)	Energia média para o Ciclo Referência (Wh)	Redução atingida face à energia do Ciclo referência do Cenário 0 (%)	Energia média para o Ciclo curto (Wh)	Redução atingida face à energia do Ciclo curto do Cenário 0 (%)
0	65 %	37,78	-	21,46	-
1	48,5 %	35,80	-5,2 %	21,02	-2,1 %
2	38,1 %	34,81	-7,9 %	20,02	-6,7 %

Com base nos valores de energia obtidos para todos os cenários considerados e para ambos os ciclos realizados, no final deste estudo, verificou-se que o valor da massa do contrapeso contribui para uma alteração do consumo energético do elevador de tração elétrica, na

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

medida em que um contrapeso dimensionado para uma carga inferior a meia carga da nominal reduz a energia consumida no ciclo de referência e curto. No caso estudado, o contrapeso encontrava-se dimensionado para 65 % da carga nominal da cabina, sendo que, após uma redução da sua massa para os 48,5 % o corte alcançado no consumo do ciclo de referência e curto foi de 5,2 % e 2,1 %, respetivamente, e para o dimensionamento de 38,1 % de contrapeso essa redução alcançou os 7,9 % e 6,7 %. Por consequência, o valor da massa de contrapeso atual está ligeiramente sobredimensionado, dado que no local da instalação serão raras as vezes que a cabina irá circular com valores de carga 65 % da sua carga nominal (195 kg), ou superiores, e será bastante comum que a cabina viaje em vazio para efetuar a recolha de passageiros, não aproveitando desta forma o dimensionamento atual do seu contrapeso e obrigando a que na descida da cabina vazia se tenha que deslocar uma grande massa de contrapeso. A Tabela 6, presente neste documento e na parte 2 da ISO 25745, considera que, para o caso deste elevador, a carga média a que este estará sujeito, sabendo que o mesmo pertence à segunda categoria de utilização, será de 7,5 %, ou seja 22,5 kg, o que em primeira mão parece um valor surreal, mas que no fundo considera nesta média também as viagens que o elevador efetua sem qualquer carga. Posto isto, os resultados obtidos através dos testes realizados comprovaram que o problema da otimização do contrapeso não deve ser ignorado e o valor da sua massa deve ser adaptado às características do local da instalação. No final, o Cenário 2 revelou-se o cenário possível de efetuar uma maior poupança no consumo energético em viagem, no entanto, para se obter os benefícios deste dimensionamento é necessário que a massa a transportar na cabina seja o mais próxima possível de 115,5 kg (38,5 % da carga nominal do elevador). Também deve-se ter em atenção que estas alterações ao nível do contrapeso, não devem trazer consequências ao nível do atrito entre os cabos de suspensão e a roda de tração, ou até mesmo para a própria máquina, no que concede aos picos de corrente.

Num segundo momento, resolveu-se realizar o cálculo da classe energética do elevador em estudo, para cada cenário estudado, aplicando o formulário fornecido pela parte 2 da ISO 25745, e procurando ao mesmo tempo perceber de que forma a categoria de utilização pode influenciar neste cálculo e na questão da otimização do contrapeso. Sendo assim, e aplicando a metodologia de cálculo da Parte 2 da ISO 25745, obtiveram-se os seguintes

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

valores para as variáveis (segundo a nomenclatura dada na norma, já tratada anteriormente no capítulo 2.4.2) que foram consideradas mais relevantes<sup>28</sup> para esta análise:

Tabela 33-Resultados obtidos para as variáveis de cálculo da norma ISO 25745 para os três Cenários elaborados e para o caso da categoria de utilização 1, 2 e 3

Categ. Utiliz.	Cenário	Erm Wh/m	Esse Wh	Erav Wh	Erd Wh	Ed Wh	Ey Wh	Espc mWh/(kg·m)	Espr mWh/(kg·m)	Classe Energ.
1	C0	0,884	5,337	23,956	544,402	1524,223	556341,530	4,832	4,107	B
	C1	0,801	5,626	23,281	508,680	1488,501	543302,960	4,515	3,892	B
	C2	0,801	5,123	22,282	476,280	1456,101	531476,750	4,227	3,785	B
2	C0	0,884	5,337	23,956	1361,006	2314,024	844618,740	4,832	4,107	B
	C1	0,801	5,626	23,281	1271,700	2224,719	812022,330	4,515	3,892	B
	C2	0,801	5,123	22,282	1190,699	2143,717	782456,810	4,227	3,785	B
3	C0	0,884	5,337	23,956	3266,413	4166,969	1520943,700	4,832	4,107	C
	C1	0,801	5,626	23,281	3052,081	3952,636	1442712,300	4,515	3,892	C
	C2	0,801	5,123	22,282	2857,677	3758,233	1371755,000	4,227	3,785	C

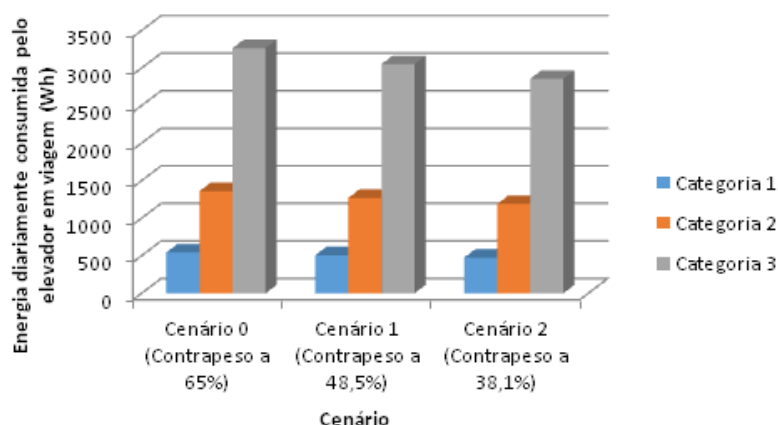


Figura 39-Gráfico de Erd, para os três cenários de massa de contrapeso estudados e para as três primeiras categorias de utilização

Numa breve análise à Tabela 33, pode-se retirar que:

1. A classe energética obtida para o elevador é a B nas duas primeiras categorias de utilização e C quando se trata da terceira categoria. Isto acontece pelo facto de o aumento de categoria significar um maior número de viagens por dia,  $n_d$ , o que como consequência aumenta a energia consumida pelo elevador em viagem ( $E_{rd}$ ) e o total de energia diária consumida ( $E_d$ ), esta última diretamente relacionada com o cálculo da classe energética;
2. Não houve alterações nas classes energéticas entre Cenários da mesma categoria de utilização, pelo que a diminuição do valor de contrapeso, para o caso específico deste

<sup>28</sup> O problema de otimização de contrapeso só tem particular interesse para a energia consumida pelo elevador em viagem  $E_{rd}$ , pelo que não foi considerado relevante apresentar nas tabelas consideradas, as variáveis envolvidas no cálculo do consumo de energia diária no modo estacionário/standby ( $E_{nr}$ ).

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

- elevador, não conseguiu racionalizar energia suficiente para permitir uma subida de escalão;
3. Para a categoria de utilização 1, do Cenário 0 para o Cenário 1, houve uma redução de 2,34 % na energia diária consumida pelo elevador ( $E_d$ ), enquanto que para o Cenário 2, essa redução atingiu os 4,47 %;
  4. Para a categoria de utilização 2, do Cenário 0 para o Cenário 1, houve uma redução de 3,86 % na energia diária consumida pelo elevador ( $E_d$ ), enquanto que para o Cenário 2, essa redução atingiu os 7,36 %;
  5. Para a categoria de utilização 3, do Cenário 0 para o Cenário 1, houve uma redução de 5,14 % na energia diária consumida pelo elevador ( $E_d$ ), enquanto que para o Cenário 2, essa redução atingiu os 9,81 %;
  6. A categoria de utilização tem um grande impacto na classificação energética final do elevador, pelo que o potencial de poupança energética relativo às ações de otimização do peso do contrapeso é tão grande, quanto maior for a categoria de utilização.

Quanto ao gráfico da Figura 39, este permite comparar os valores da energia consumida em viagens pelo elevador para as várias categorias e cenários. Através da sua análise, foi possível deduzir que, para o elevador em estudo, independentemente da sua categoria de utilização, do Cenário 0 para o Cenário 1, houve uma redução de 6,56 % na energia consumida pelo elevador em viagem ( $E_{rd}$ ), enquanto que para o Cenário 2, essa redução atingiu os 12,51 %. No entanto, apesar das alterações efetuadas na massa de contrapeso introduzirem uma maior eficiência energética do equipamento, esta racionalização não foi suficiente para alterar a classe de eficiência energética atual do elevador do estudo.

Não obstante o facto de não ter havido qualquer alteração da classe de eficiência energética do Cenário 0 para os Cenários 1 e 2, para as três categorias de utilização estudadas, no gráfico da Figura 40 pode ser analisada a aproximação dos novos valores de energia diária consumida à classe de eficiência energética imediatamente superior.



## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

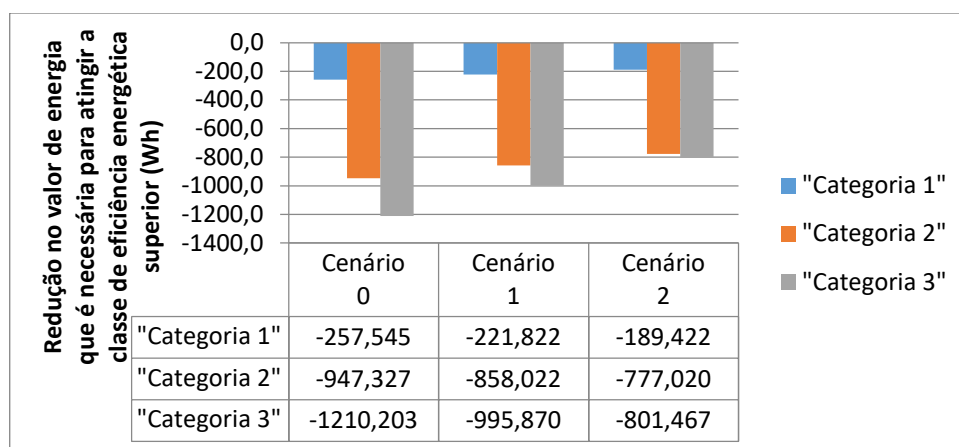


Figura 40-Redução necessária em Ed, para que o elevador consiga atingir a classe de eficiência energética imediatamente superior, tendo como base os três cenários realizados e as três primeiras categorias de utilização

No gráfico da Figura 40, pode ser observado que relativamente à categoria de utilização 1, para o Cenário 1 e 2, a redução que era necessária fazer na energia consumida pelo elevador no Cenário 0, para que o mesmo subisse para a classe A (257,545 W), foi atenuada em 13,87 % e 26,45 %, respetivamente, enquanto que para a categoria de utilização 2 a redução conseguida foi de 9,43 % e 17,98 % e para a categoria 3 foi 17,71 % e 33,77 %.

Verificou-se também que o caso mais próximo de atingir a classe de eficiência energética superior era o do Cenário 2, para a categoria de utilização 1, pelo facto de precisar apenas de descontar 189,42 W para que o equipamento passasse da classe B para a classe A.

### 4.1.2 Eficiência na Iluminação

#### 4.1.2.1 Análise ao atual sistema de iluminação de 6 elevadores de um Hospital

A utilização de sistemas de iluminação pouco eficientes nos elevadores, pelo facto de ser uma componente (iluminação) que em muitos casos se encontra permanentemente ligada, quer o equipamento esteja em manobra, quer esteja parado, torna-se num fator relevante a ser analisado para otimizar o consumo energético do elevador. Soluções como substituir lâmpadas fluorescentes do tipo T8 por tecnologia LED (*light-emitting diode*) e a introdução de temporizadores para desativar a iluminação, aquando da não utilização do elevador, são fáceis de implementar e permitem reduzir substancialmente o consumo energético do elevador e influenciar na sua classificação energética segundo a ISO 25745.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

No entanto, aquando deste tipo de modernizações, é conveniente ter em consideração os requisitos da norma EN 81-20 para o nível mínimo de iluminação na cabina (100 Lux).

Tendo em consideração esta vertente da iluminação, procurou-se analisar a influência que um sistema de iluminação mais eficiente pode ter no consumo energético do elevador e no impacto que esta pode trazer para a classe energética do mesmo. Para realizar este teste, utilizou-se como objeto de estudo seis elevadores de grandes dimensões, instalados num ambiente hospitalar cuja componente de iluminação utiliza lâmpadas do tipo tubular fluorescentes T8 de 18 W com balastro ferromagnético. Este tipo de lâmpadas são caracterizadas pelo seu diâmetro de 26 mm e são ainda muito utilizadas atualmente, necessitando da utilização de balastros para o seu funcionamento. Estes balastros atuam de forma a realizar um pré-aquecimento dos eletrodos para a emissão dos eletrões produzir a tensão de arranque da lâmpada e regular a tensão de funcionamento das mesmas. O balastro ferromagnético é constituído por um enrolamento de fio de cobre esmaltado, enrolado sobre um núcleo de ferro laminado ou aço elétrico. Como tal estes balastros dissipam calor, alterando o fator de potência da instalação e produzindo energia reativa.

Perante este cenário, a primeira ação a realizar consistiu no levantamento de dados relativos às dimensões das cabinas e do sistema de iluminação corrente, de forma a poder reunir as condições para dimensionar um novo tipo de iluminação mais eficiente e que obedecesse ao mesmo tempo aos requisitos mínimos da norma para esta componente.

*Tabela 34-Dimensões das cabinas dos elevadores envolvidos no estudo da modernização do sistema de iluminação*

Elevador	Carga nominal (kg)	Dimensões (m)			Sistema de Iluminação	
		Comprimento	Largura	Altura	Lâmpadas	Dispositivos de conexão
E1	2550 kg	2,75 m	1,65 m	2,14 m	8 lâmpadas TLD 18 W /840	4 Balastros ferromagnéticos de 36 W
E2	2400 kg	2,75 m	1,65 m	2,14 m	8 lâmpadas TLD 18 W/ 840	4 Balastros ferromagnéticos de 36 W
E3	1950 kg	2,95 m	1,5 m	2,14 m	8 lâmpadas TLD 18 W/ 840	4 Balastros ferromagnéticos de 36 W
E4	2100 kg	2,65 m	1,45 m	2,14 m	8 lâmpadas TLD 18 W/ 840	4 Balastros ferromagnéticos de 36 W
E5	2400 kg	2,65 m	1,65 m	2,14 m	8 lâmpadas TLD 18 W/ 840	4 Balastros ferromagnéticos de 36 W
E6	450 kg	2,40 m	1,40 m	2,14 m	8 lâmpadas TLD 18 W/ 840	4 Balastros ferromagnéticos de 36 W

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Através de uma breve análise à Tabela 34, pode-se verificar que todos os elevadores envolvidos neste estudo possuem um sistema de iluminação idêntico<sup>29</sup> que não tem em consideração as diferentes dimensões das cabinas.

Nas amostras recolhidas, pode-se concluir que são exigidos 144 W de potência, apenas para o consumo das lâmpadas de cada um destes elevadores, sem considerar o consumo referente aos balastros ferromagnéticos, para os quais muitos fabricantes consideram ser um acréscimo de 20 % da potência que os mesmos estão preparados para fornecer às lâmpadas. Neste caso, considerou-se um excesso de 20 % ao consumo de cada balastro, resultando em 43,2 W consumidos por cada luminária, perfazendo um total de 172,8 W para o sistema de iluminação de cada cabina. Assim, pode-se concluir que, nos seis elevadores estudados, são necessários no total, 1036,8 W para suportar todos os sistemas de iluminação.

Pelo facto de nenhum dos seis elevadores apresentar diferenças no que diz respeito ao valor do consumo para o estado *standby*, *standby* 5 minutos e *standby* 30 minutos, considerou-se apenas a existência de um só estado *standby* (a potência deste estado está na coluna "Potência *standby*" da Tabela 35). Por consequência, o sistema de iluminação dos seis elevadores do estudo representa em média 42,4 % do consumo referente ao estado *standby* e os restantes 57,6 % ao consumo dos restantes componentes do elevador. Já no que concerne ao consumo de energia diário dos elevadores ( $E_d$ ), a componente de iluminação representa em média 21,6 % do consumo total. Posto isto, e uma vez que o consumo diário é utilizado diretamente no modelo matemático que permite obter a classe energética do elevador, será relevante perceber de que forma uma modernização no sistema de iluminação poderá influenciar neste cálculo e promover a classe energética a que pertence um determinado equipamento, sabendo que quatro dos elevadores da amostra pertencem à classe energética C e dois à classe D.

A classe de eficiência energética é determinada de acordo com o modelo matemático apresentado no capítulo 2.4.3.10, dependendo do valor da energia diária consumida,  $E_d$ , do valor da carga nominal,  $Q$ , do número de viagens realizadas por dia,  $n_d$ , da distância média

---

<sup>29</sup> Isto explica-se pelo facto de todos os seis elevadores usados no estudo, pertencerem ao mesmo fabricante.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

de viagem num só sentido,  $S_{av}$  e do o tempo diário para o qual o ascensor se encontra em modo estacionário ou standby,  $t_{nr}$ .

Uma vez que todos os elevadores pertencem à mesma categoria de utilização, a categoria três, considera-se que o número de viagens por dia é de 300, de acordo com a Tabela 3 e a distância média de viagem num só sentido,  $S_{av}$ , será 49 % do valor de  $S_{rc}$ , correspondente à distância de uma só viagem de sentido único do ciclo de referência, de acordo com a Tabela 4. Já para o valor de  $t_{nr}$ , é necessário encontrar primeiramente o tempo que uma viagem para a distância média de viagem ( $t_{av}$ ), demora a ser realizada e através deste mesmo valor, obter o total de horas em viagem por dia ( $t_{rd}$ ), e deduzir esse valor às 24 horas do dia.

Na Tabela 35, com exceção da coluna da "Potência *Standby*", são apresentados os valores encontrados para as variáveis necessárias ao cálculo da classe de eficiência energética (segundo a nomenclatura da norma) para a situação atual dos elevadores.

*Tabela 35-Valores obtidos para as variáveis necessárias ao cálculo da classe de eficiência energética do elevador*

Elevador	Ed (Wh)	Potência <i>Standby</i> (W)	Q (kg)	nd (viagens/dia)	Src (m)	Sav (m)	tav (s)	trd (h)	tnr (h)
E1	18725	372,00	2550	300	32,45	15,90	27,48	2,29	21,71
E2	19662	475,00	2400	300	35,27	17,28	28,34	2,36	21,64
E3	22973	498,00	1950	300	39,47	19,34	29,63	2,47	21,53
E4	17862	381,96	2100	300	35,27	17,28	28,34	2,36	21,64
E5	20310	435,96	2400	300	35,27	17,28	28,34	2,36	21,64
E6	7534	219,60	450	300	10,32	5,06	21,80	1,82	22,18

#### **4.1.2.2 Substituição de lâmpadas fluorescentes e balastros ferromagnéticos por solução LED**

A solução proposta envolve a substituição das luminárias com lâmpadas tubulares fluorescentes do tipo T8 de 18 W e arrancadores atuais por uma nova gama de luminárias do tipo *Downlight* com lâmpadas LED de 13 W, procurando racionalizar a energia consumida pelo sistema de iluminação de cada cabina, através de um dimensionamento que obedece ao nível de iluminância mínimo exigido pela norma EN 81-20 para este tipo de espaço, que é de 100 lux.

Para dimensionar a nova solução recorreu-se a um *software* destinado ao cálculo de iluminação, DIALux, simulando assim os vários cenários de acordo com as diferentes dimensões das cabinas. No entanto, antes de proceder a esta simulação, é necessário

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

realizar um levantamento das cores e materiais constituintes dos painéis, teto e portas das várias cabinas. Uma vez que todas as amostras pertencem ao mesmo modelo de um único fabricante, considerou-se que todas os espaços possuíam as mesmas características. Assim, relativamente ao revestimento dos painéis que constituem a cabina e ao pavimento da mesma, considerou-se que o mesmo é feito de metal, enquanto que o teto é revestido por plástico, com cor Branco-Pérola. Já para a altura do plano de trabalho utilizou-se um plano de uso a zero metros do solo.

Quanto à luminária utilizada, recorreu-se ao catálogo da Philips Lighting, onde foi escolhido o modelo de luminária encastrada *Downlight*, PHILIPS DN135B D165 1xLED10S/840, com fluxo luminoso de 1000 lumens e 13 W de potência. Partindo deste modelo de luminária foram então realizadas as seis simulações necessárias para o dimensionamento do sistema de iluminação das cabinas referentes às amostras recolhidas. Importa referir que, para todos os casos estudados, considerou-se apenas a instalação de uma luminária no espaço, sendo que no final obtiveram-se os valores de iluminância média ( $E_{med}$ ), mínima ( $E_{min}$ ) e máxima ( $E_{max}$ ) e fator de uniformidade ( $fu$ ), apresentados na Tabela 36. No Anexo 4 estão representados os relatórios obtidos no DIALux.

*Tabela 36-Valores da iluminância obtidos segundo o DIALux para as cabinas com o novo sistema de iluminação*

<b>Amostra</b>	<b>Iluminância média (lx)</b>	<b>Iluminância mínima (lx)</b>	<b>Iluminância máxima (lx)</b>	<b>Fator de Uniformidade</b>
<b>E1</b>	185	148	207	0,799
<b>E2</b>	185	148	207	0,799
<b>E3</b>	184	146	221	0,793
<b>E4</b>	198	162	233	0,815
<b>E5</b>	189	153	211	0,806
<b>E6</b>	214	176	235	0,824

Analisando os resultados obtidos para as diferentes amostras de cabina, é possível reconhecer que a utilização de apenas uma luminária do tipo LED, escolhida para substituir o sistema de iluminação mais antiquado, cumpre folgadoamente os requisitos mínimos de iluminância estabelecidos na norma EN 81-20, uma vez que o menor valor de iluminância que foi calculado no plano de trabalho em todas as cabinas estudadas foi de 146 lux para a amostra E3, que correspondia ao elevador cujo comprimento apresentava maior diferença de proporção em relação à largura (neste caso, muito maior o comprimento do que a largura). Não menos importante do que atingir o nível mínimo para a iluminância no plano de trabalho, também é necessário ter em consideração a uniformidade da iluminância ou o chamado fator de uniformidade ( $fu$ ). A uniformidade é dada pela razão entre a iluminância

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

mínima e a média, obtida na área que é iluminada. Uma boa uniformidade na iluminação é importante, evitando sombras acentuadas e assegurando o conforto visual dos ocupantes, uma vez que em zonas de contraste inadequado, os olhos têm que adaptar-se e readaptar-se muito frequentemente, provocando maior cansaço e desconforto. Para lá do conforto, uma boa uniformidade, também contribui para um aumento da segurança para a prática da atividade exercida na área. Segundo a norma ISO 8995-1 de 2002, que especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e as condições para que os profissionais possam desempenhar as suas tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de atividade, a área da tarefa deve ser iluminada o mais uniformemente possível, não podendo o fator de uniformidade ser menor que 0,7 [32]. Tendo em vista este requisito, procurou-se conceber um novo sistema de iluminação que satisfizesse esta condição para todas as amostras estudadas. Como tal, como pode ser perceptível na Tabela 36, todos os valores do fator de uniformidade são superiores a 0,7, sendo o valor mínimo obtido, 0,793 para o elevador E3.

Satisfeitos os requisitos que dizem respeito à qualidade da iluminação nas várias cabinas, resta então realizar o estudo da viabilidade económica para a nova solução de iluminação. Para tal, é necessário tomar algumas considerações relativamente a ambas as soluções, como de seguida se descreve:

-O sistema de iluminação atual funciona 24 horas por dia e 365 dias por ano, pelo facto de se tratar de um hospital público;

-As luminárias do tipo LED, ao contrário das lâmpadas tubulares fluorescentes, não necessitam de balastros, sendo que se considerou uma potência de perdas nula no que diz respeito ao dispositivo de conexão, o que significa que com a nova luminária cada amostra de elevador irá necessitar no máximo de 13 W para a sua iluminação, ou seja, há uma redução de aproximadamente 13 vezes no valor da potência que cada cabina com o sistema de iluminação atual precisa.

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

Tabela 37-Comparação entre o atual sistema de iluminação e o novo sistema do tipo LED para uma amostra

Sistema de Iluminação de uma cabina		
Tipo de Solução	Solução Atual	Nova solução de iluminação LED
Tipo de Luminária	Tubular Fluorescente	LED
Nº de Luminárias utilizadas	4	1
Nº de Lâmpadas por luminária	2	1
Potência individual da Lâmpada	18 W	13 W
Tempo de vida da Lâmpada	15 000 horas	50 000 horas
Custo de cada Lâmpada	1,5 €	29 €
Potência da Luminária sem perdas em dispositivos de conexão	36 W	13 W
Potência da Luminária com perdas em dispositivos de conexão	43,2 W	13 W
Potência total necessária para iluminação	172,8 W	13 W
Custo anual para manutenção do sistema, repartido por 15 anos	6,4 € para a aquisição de lâmpadas e 10,7 € para custos de instalação	3,9 € para a aquisição de luminárias e 0,3 € para custos de instalação
Consumo de energia anual	1513,7 kWh	113,9 kWh
Custos anuais de Energia	213,1 €	16,0 €

Segundo a informação do quadro anterior, pode-se concluir que, apesar da luminária do tipo LED apresentar um elevado custo para a sua lâmpada, pelo facto deste equipamento ter de ser completamente substituído aquando do seu fim de vida, o facto de apenas se necessitar de uma única fonte de luz por cabina e pelo facto de cada luminária ter um tempo de vida cerca de 3,3 vezes superior às lâmpadas das luminárias atualmente utilizadas nas cabinas, faz com que o custo anual relativo à aquisição de lâmpadas, repartido pelos 15 anos do investimento, consiga ainda assim ser 61 % do valor necessário para a situação atual. Quanto aos custos de instalação associados à mão de obra necessária para a manutenção do sistema, teve-se em consideração um tempo de manutenção de 10 minutos para ambas as situações, utilizado apenas aquando da falha individual de uma das luminárias ou lâmpadas do sistema (15 €/hora). Uma vez que o sistema de iluminação atual é mais suscetível a falhas dos seus equipamentos de iluminação, sem surpresa este custo de instalação foi quase 36 vezes superior ao custo associado à solução do tipo LED.

Por fim, e relativamente à energia consumida para a iluminação, pode-se facilmente constatar que a instalação do sistema LED desenvolvido, em detrimento do sistema atual de iluminação, permite reduzir o consumo de energia para aproximadamente 7,5 % do valor atual. De realçar que o novo sistema não foi dimensionado para igualar o valor da iluminação fornecida pelo sistema de iluminação atual, mas sim de acordo com os requisitos mínimos da norma EN 81-20 (100 lux).

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Também é de extrema importância referir que os dados fornecidos pela Tabela 37 fazem referência apenas a uma amostra de elevador, sendo que para as seis amostras os valores atingidos são os seguintes:

*Tabela 38-Comparação entre o atual sistema de iluminação e o novo sistema do tipo LED para o total das amostras*

<b>Total dos Sistemas de Iluminação das seis cabinas</b>		
<b>Solução</b>	<b>Solução Atual</b>	<b>Nova solução de iluminação LED</b>
<b>Tipo de Luminária</b>	Tubular Fluorescente	LED
<b>Nº de Luminárias utilizadas</b>	24	6
<b>Potência total necessária</b>	1036,8 W	78 W
<b>Custo anual para manutenção do sistema, repartido por 15 anos</b>	38,4 € para a aquisição de lâmpadas + 64 € de custos de instalação	23,2 € para a aquisição de luminárias + 2 € de custos de instalação
<b>Consumo de energia anual</b>	9082,4 kWh	683,3 kWh
<b>Custos anuais de Energia</b>	1278,8 €	96,2 €

De acordo com os dados fornecidos pela Tabela 38 e uma análise realizada aos relatórios de certificação energética disponíveis para estes seis elevadores, é possível classificar a influência que o sistema de iluminação atual tem no total de energia consumida pelos elevadores. Posto isto, o total da energia consumida anualmente pelos seis elevadores envolvidos neste estudo foi obtido pelo somatório da energia anual consumida individualmente, obtida segundo a norma ISO 25745-2, tomando esta o valor de 38 543 kWh. Com isto, conclui-se que 23,56 % da energia consumida para todos os elevadores considerados diz respeito à energia consumida para a componente de iluminação, o que defende a existência de potencial neste sentido para aplicar soluções de eficiência energética. Com a instalação do novo sistema LED prevê-se que a iluminação represente 1,77 % do total de energia consumida por todos os elevadores.

Assim, com a aplicação desta nova solução prevê-se que haja uma redução significativa no consumo de energia diário de cada elevador, conduzindo a uma eventual progressão de classe de eficiência energética. Tendo em conta esta perspetiva, foi elaborada a Tabela 39 que permite comparar as possíveis alterações verificadas nas classes de eficiência, incluindo os valores de energia necessários para atingir uma classe superior ou inferior, após a melhoria do sistema de iluminação.



## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

Tabela 39-Influência da melhoria do sistema de iluminação atual na classe de eficiência energética das amostras estudadas

Elevador	Solução atual de iluminação			Nova solução de iluminação LED		
	Classe de eficiência energética atual	Energia para a classe acima	Energia para a classe abaixo	Classe de eficiência energética prevista	Energia para a classe acima	Energia para a classe abaixo
E1	C	-3417,42 W	+19516,31 W	B	-5046,78 W	+9156,87 W
E2	C	-4061,07 W	+19227,09 W	C	-226,07 W	+23062,09 W
E3	D	-338,48 W	+35546,74 W	C	-4765,99 W	+16966,78 W
E4	C	-3940,69 W	+17247,95 W	C	-106,68 W	+21081,95 W
E5	C	-4709,07 W	+18579,09 W	C	-874,07 W	+22414,09 W
E6	D	-1991,38 W	+12703,32 W	C	-743,25 W	+ 6832,93 W

Na Figura 41, estão representados os consumos energéticos diários de cada elevador de acordo com a solução atual de iluminação e os valores para a nova solução desenvolvida.

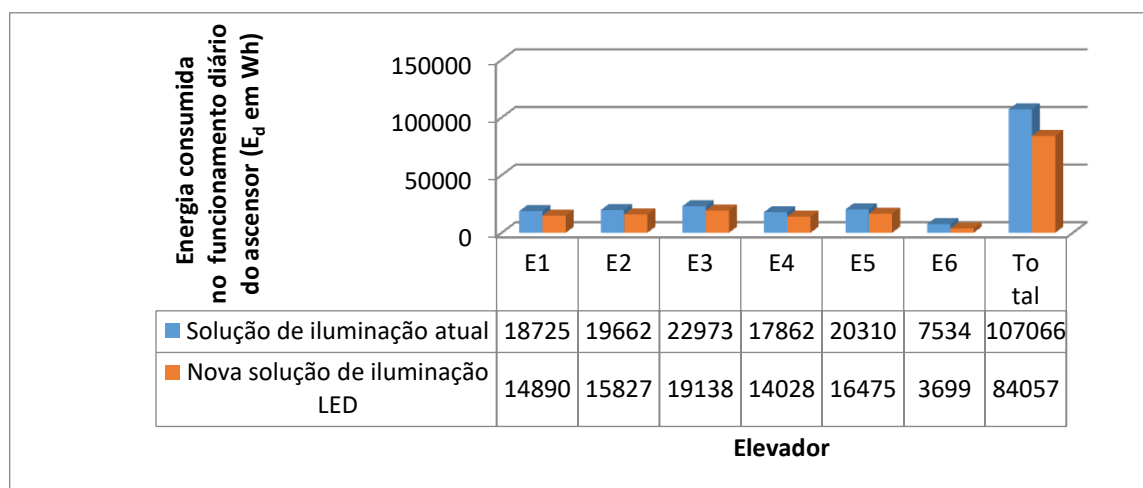


Figura 41-Gráfico representativo do consumo da energia diária do ascensor para a solução de iluminação atual e para a nova solução proposta

A análise à Tabela 39 permite verificar que dos seis elevadores contidos na amostra, metade sofreram uma melhoria da classe energética e a outra metade manteve a classe.

Assim, pode-se afirmar que o elevador E1 seria aquele que conseguiria alcançar a classe de desempenho energético mais elevada, a classe B. Relativamente à pior classe de desempenho, esta passaria a ser a classe C ao invés da classe D da situação atual, devido à diminuição do consumo energético verificado nos elevadores E3 e E6. Ao mesmo tempo, há uma outra metade das amostras de elevadores que não sofreu qualquer alteração ao nível da classe de eficiência energética, caso dos elevadores E2, E4 e E5, que continuaram na sua classe inicial, C, passando, no entanto, a estar muito mais próximos do limite para atingirem a classe superior, B.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Para realizar o estudo acerca da viabilidade económica do investimento que envolve a substituição dos sistemas de iluminação compostos por lâmpadas fluorescentes do tipo T8 de 18 W, pelas luminárias do tipo LED de 13 W da Philips, consideraram-se as seguintes entradas para a análise do investimento:

*Tabela 40-Entradas para a análise da viabilidade económica da melhoria do sistema de iluminação*

Dados gerais		
Preço médio da eletricidade	Euro / kWh	0,1408
Inflação no preço da eletricidade	%	4 %
Custo de mão de obra	Euro / hora	15,0
Inflação no custo da mão de obra	%	0,5 %
Inflação no preço dos equipamentos de iluminação	%	0,5 %
Taxa de desconto	%	15 %
Tempo de vida do investimento	Anos	15
Tempo de substituição de 1 lâmpada por falha individual	Minutos	10

Segundo os dados fornecidos pela Tabela 40, interessa mencionar que o preço médio da eletricidade foi obtido de acordo com a base de dados do PORDATA, Base de Dados de Portugal Contemporâneo, para utilizadores do tipo industrial em Portugal para o ano de 2017. Segundo esta base de dados, considerou-se um valor da inflação sobre o preço da eletricidade de 4,0 %, determinado segundo a média dos valores de inflação para Portugal, entre 2010 e 2016 sobre a habitação, água, eletricidade, gás e outros combustíveis e relativamente à inflação para o custo da mão de obra e para o preço dos equipamentos de iluminação foi considerado o valor de 0,5 %, relativo aos bens e serviços diversos, determinado segundo o valor médio para o mesmo período. No que concerne à mão de obra necessária para realizar a manutenção do sistema de iluminação, considerou-se um custo de 15 €/h, de forma a poder calcular o custo associado à substituição de uma lâmpada, no caso do sistema de iluminação atual, ou da luminária, no caso do novo sistema de iluminação LED<sup>30</sup>, sabendo à partida que a substituição é realizada apenas aquando da falha de um equipamento, com duração de cerca de 10 minutos.

Quanto à taxa de desconto, frequentemente é designada de taxa mínima de atratividade, consistindo numa taxa de juros que diz respeito ao valor mínimo que um dado investidor se propõe a ganhar perante um investimento. Para este caso, utilizou-se uma taxa de desconto de 15 %, considerando um horizonte de análise de 15 anos.

<sup>30</sup> As características da luminária PHILIPS DN135B D165 1xLED10S/840, obrigam a que no final do tempo de vida das suas lâmpadas do tipo LED, se tenha que substituir por inteiro o equipamento.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

De acordo com os dados anteriormente fornecidos, procedeu-se à análise da viabilidade económica do investimento em novas luminárias do tipo LED, para substituir o atual sistema de iluminação do tipo fluorescente em seis elevadores do Hospital São João no Porto, obtendo-se os seguintes resultados:

*Tabela 41-Resultados para a análise de viabilidade económica do investimento em novas luminárias*

Análise do Investimento		
Hipóteses de Melhoria		LED 13 W vs. TLD 18 W
Período de retorno	Anos	0,1
	Meses	1,7
Poupanças anuais	kWh / ano	8399
	Euro / ano	1183
	Toneladas de CO <sup>2</sup> / ano	4,2
Valor atual líquido	Euro	8742
TIR	%	751 %

O VAL, ou valor atual líquido, corresponde a um dos indicadores de rendibilidade mais consistentes na análise de investimentos, aglomerando os fluxos líquidos atualizados gerados pelo projeto. Este corresponde à diferença entre os valores atualizados das entradas e saídas de fluxos monetários, os denominados *cash flows*, durante o período de vida útil do projeto, calculados para o ano zero. O VAL pode ser determinado através da seguinte equação:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \left[ \frac{CF_t}{(1+k)^t} \right] \quad (3.2)$$

Onde,  $CF_t$  corresponde ao valor em euros do *Cash Flow*, gerado pelo projeto no período  $t$ ,  $k$  diz respeito à taxa de atualização ou desconto,  $t$  corresponde ao número do período e  $n$  é o tempo de vida do projeto.

O critério de análise e decisão com base no valor do VAL obtido é o seguinte:

- Se o VAL for superior a zero, significa que o projeto gera um retorno suficiente para cobrir o investimento inicial e ainda produz um excedente financeiro, o que torna o projeto viável;
- Se o VAL igualar a zero, isto significa que o investidor recebe a remuneração exigida, mas existe o risco do projeto se tornar não viável;
- Se o VAL for inferior a zero, isto significa que o projeto é não viável.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Segundo a Tabela 41, o valor atual líquido (VAL) para o projeto analisado é positivo e bastante cativante, tendo em conta o investimento inicial realizado, atingindo o valor de 8742 € ao fim dos 15 anos, o que nesta perspetiva de avaliação pelo valor do VAL, consiste num projeto viável.

Já no que diz respeito à análise da TIR, ou Taxa Interna de Rentabilidade, esta representa a taxa de atualização dos *cash flows* para qual é nulo o VAL. Um projeto, só terá interesse se, em termos económicos a TIR for superior à taxa de renumeração dos capitais investidos pretendida (taxa de desconto), ou superior àquela que o investidor teria se aplicasse os seus capitais num investimento idêntico ou de menor risco (custo de oportunidade do capital). O cálculo da TIR é efetuado igualando-se a expressão do VAL a zero e resolvendo a equação em ordem a taxa de atualização [33].

$$VAL = \sum_{t=0}^n \left[ \frac{CF_t}{(1 + TIR)^t} \right] = 0 \quad (3.3)$$

Segundo a Tabela 41, relativamente à TIR, ou taxa de rentabilidade, esta é bastante superior ao custo de oportunidade do capital ou taxa de desconto escolhida (751 % > 15 %), pelo que estamos perante um projeto economicamente viável.

Quanto ao período de retorno do investimento (PRI), este representa o tempo de recuperação do capital investido, ou seja, o tempo necessário para que os *cash flows* gerados e acumulados cubram o conjunto de *cash flows* do investimento no projeto. O PRI poderá ser também entendido como sendo o período necessário, em anos, para que o VAL atinja um valor nulo, podendo ser calculado com recurso à seguinte equação:

$$\sum_{t=1}^n \left[ \frac{CF_t}{(1 + k)^{PRI \cdot t}} \right] = I_0 \quad (3.4)$$

Quanto ao período de retorno do investimento aplicável a este caso, na Tabela 41 é possível verificar que o mesmo será feito em aproximadamente 1 mês e meio após a instalação do novo sistema, pelo que este curto período pode ser explicado pelo facto do consumo de energia ter reduzido em 92,5 % face à situação inicial.

### **4.1.3 Impacto da alimentação permanente do motor da porta de cabina**

Nos elevadores existem vários tipos de portas: as portas de batente, portas de lagarto, portas de guilhotina e portas de lâminas. Estas mesmas devem estar adaptadas ao perfil do edifício e às necessidades de tráfego, tendo um papel fundamental no que diz respeito em manter a sua fluidez e possibilitar ao mesmo tempo a máxima segurança dos seus utilizadores. Neste capítulo, procurar-se-á apenas analisar o potencial de poupança energética relativo às portas do tipo lâmina. Neste tipo de portas, a abertura e o fecho realizam-se através de um dispositivo designado operador de portas, colocado acima das portas de cabina. Este é essencialmente constituído por um motor de corrente contínua ou alternada e um sistema de transmissão de movimento, formado por correntes, cabos de aço ou correias e rodas de auxílio. Através deste tipo de sistema, as portas de patamar não necessitam de ter operador, sendo que a sua abertura é coadjuvada pelo movimento das portas de cabina, que quando estão ao piso atuam um mecanismo, que arrasta as de patamar.

Por razões de segurança, a porta da cabina não deve possibilitar ao utilizador a sua abertura manual, quer o elevador esteja em movimento, quer esteja no estado estacionário, pelo que um dos grandes problemas associados a alguns mecanismos de bloqueio da porta de cabina, é o seu recurso a motores permanentemente alimentados, para garantir que a porta permanece fechada, mesmo quando o elevador está inativo. A solução passa pela utilização de mecanismos de bloqueio da porta de cabina que não sejam permanentemente alimentados quando o elevador está neste estado, de forma a evitar energia que possa ser consumida desnecessariamente neste período.

Neste capítulo, traçou-se como objetivo analisar o impacto que um operador de porta permanentemente ligado pode ter no consumo de energia diária no modo estacionário do elevador,  $E_{nr}$  e consequentemente no consumo global de energia diária do mesmo, procurando ao mesmo tempo estudar de que forma a existência de um dispositivo que permita o bloqueio da porta numa situação de repouso, pode contribuir para uma diminuição no consumo energético e afetar a classificação energética do ascensor.

Para este caso, por uma questão de facilidade logística, utilizou-se como objeto de estudo, operadores de porta do elevador envolvido no estudo da otimização do valor do contrapeso. Este elevador é constituído por portas de lâminas automáticas e um acesso

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

duplo à cabina, sendo que ambas as portas possuem operadores com motores de 40 VDC de escovas, que se encontram permanentemente ligados, e respetivas caixas de velocidades.

Devido ao facto das pontas de prova para medição de corrente do analisador de energia, utilizado anteriormente, estarem limitadas apenas para a medição de correntes alternadas, foi necessário recorrer a uma pinça amperimétrica DC da Unit-T, modelo UT210e com uma precisão de 2 %, para conseguir analisar o valor médio da corrente contínua à entrada do motor do operador de porta aquando a abertura, fecho e após terminado o ciclo de porta da cabina<sup>31</sup>. Relembre-se que o tempo de cada ciclo de porta, neste elevador, é de 12 segundos.

Posto isto, os resultados obtidos nas medições realizadas foram os seguintes:

*Tabela 42-Valores de corrente obtidos durante as medições efetuadas ao motor da porta de cabina*

Situação analisada	Valor médio da corrente medida	Valor médio da tensão à entrada do motor	Potência média consumida pelo motor de porta de cabina
Abertura de porta da cabina	0,73 A	38,8 V (DC)	28,32 W
Fecho de porta da cabina	0,26 A		10,01 W
Após o fim de ciclo de porta	0,25 A		9,70 W

Relativamente aos valores médios da corrente, obtidos na Tabela 42, pode-se verificar que o período para o qual a corrente obtida foi maior é aquele que se refere à abertura da porta da cabina, com 0,73 A, sendo que este valor foi aproximadamente 2,81 vezes superior ao que foi obtido para o fecho de porta (0,26 A). No entanto, o âmbito da hipótese de otimização energética analisada neste capítulo passa apenas por analisar o problema relativo à alimentação permanente do motor de porta quando o elevador está no modo *standby*, uma vez que se trata de uma grande condicionante para elevadores de categorias de utilização mais baixas como este. Como pode ser analisado a partir da Tabela 42, o motor de porta de cabina em estudo continua a ser alimentado por uma corrente de 0,25 A, mesmo após o fim do ciclo de porta. Esta corrente é responsável pelo consumo de 9,70 W quando o elevador está no estado estacionário, o que para este caso em específico atinge

<sup>31</sup> Nas medições realizadas, apenas foi analisado o arrastamento da porta de cabina, não considerando as portas de patamar.

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

cerca do dobro desse valor, ou seja 19,4 W, pelo facto de se tratar de uma cabina com duplo acesso, implicando a existência de dois motores.

Posto isto, propôs-se a realização de uma pequena análise relativa ao impacto que os operadores de porta atuais do elevador estão a ter na potência consumida pelo mesmo no estado estacionário e consequentemente na energia diariamente consumida e classificação energética final do elevador, tendo em conta que já existem operadores que têm mecanismos de bloqueio da porta de cabina que não necessitam de estar permanentemente alimentados quando o elevador não está em utilização.

Considerando como valor médio para a potência no estado inativo/*standby* deste elevador, 39,91 W, (resultado da média dos valores de 38 W e 41,82 W, obtidos no capítulo 4.1.1, para a potência *standby* e *standby* 5 minutos) pode-se constatar que, segundo esta premissa, 48,6 % do consumo no estado estacionário é relativo ao consumo dos operadores de porta.

A partir daqui, questionou-se a racionalização de energia conseguida para este elevador, caso o operador atual fosse dotado de um sistema mecânico que bloqueasse as portas de cabina aquando da não utilização do mesmo, eliminando assim a necessidade de alimentar o motor de portas nesse período. Posto isto, para a realização deste estudo, apenas se considerou relevante uma análise relativa ao valor do consumo de energia diária no modo estacionário/*standby*,  $E_{nr}$ , dado pela equação 2.13, uma vez que se pretende estudar apenas o período de inatividade e não em viagem.

Tendo em conta todos os aspetos apresentados anteriormente, supôs-se os seguintes quatro modos de operação possíveis:

1. Porta de cabina sem sistema de bloqueio de portas (Situação de referência), considerado o modo de operação 0 (M.O.P.0);
2. Porta de cabina com sistema de bloqueio de portas e corte da alimentação do motor de porta logo após a entrada do elevador no estado *standby*, considerado o modo de operação 1 (M.O.P.1);
3. Porta de cabina com sistema de bloqueio de portas e corte da alimentação do motor de porta após 5 minutos de inatividade do elevador, considerado o modo de operação 2 (M.O.P.2);

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

4. Porta de cabina com sistema de bloqueio de portas e corte da alimentação do motor de porta após 30 minutos de inatividade do elevador, considerado o modo de operação 3 (M.O.P.3).

Para a realização deste estudo, é necessário analisar os valores para a potência *standby*, *standby* 5 minutos e *standby* 30 minutos, obtidas anteriormente para o elevador, e descontar ou não, segundo cada modo de operação, a energia consumida por ambos os motores de porta (19,4 W), realizando em seguida novamente o cálculo relativo à certificação energética do elevador. Assim, para os modos de operação considerados anteriormente, foi possível obter os resultados da Tabela 43, considerando as três primeiras categorias de utilização.

Tabela 43-Resultados obtidos para as variáveis de cálculo da norma ISO 25745 para os quatro modos de operação de porta elaborados e para o caso da categoria de utilização 1,2 e 3

Categoria de utilização	Modo operação	Tempo diário para o qual o ascensor se encontra em modo estacionário ou <i>standby</i> ( $t_{nr}$ em horas)	Consumo de energia diária no modo estacionário /standby (Enr em Wh)	Energia consumida no funcionamento diário do ascensor (Ed em Wh)	Classe energética	Energia para classe acima (Wh)	Energia para classe abaixo (Wh)
1	M.O.P.0	23,711	979,821	1524,223	B	-257,545	3400,521
	M.O.P.1	23,711	519,827	1064,229	A	0	1428,565
	M.O.P.2	23,711	579,626	1124,028	A	0	1368,766
	M.O.P.3	23,711	832,623	1377,025	B	-110,346	3547,719
2	M.O.P.0	23,278	953,018	2314,024	B	-947,327	2797,836
	M.O.P.1	23,278	501,433	1862,438	B	-495,741	3249,422
	M.O.P.2	23,278	605,297	1966,303	B	-599,606	3145,557
	M.O.P.3	23,278	808,511	2169,517	B	-802,82	2942,343
3	M.O.P.0	22,266	900,556	4166,969	C	-1210,203	6382,356
	M.O.P.1	22,266	468,59	3735,003	C	-778,237	6814,322
	M.O.P.2	22,266	624,097	3890,511	C	-933,745	6658,814
	M.O.P.3	22,266	758,007	4024,42	C	-1067,654	6524,904

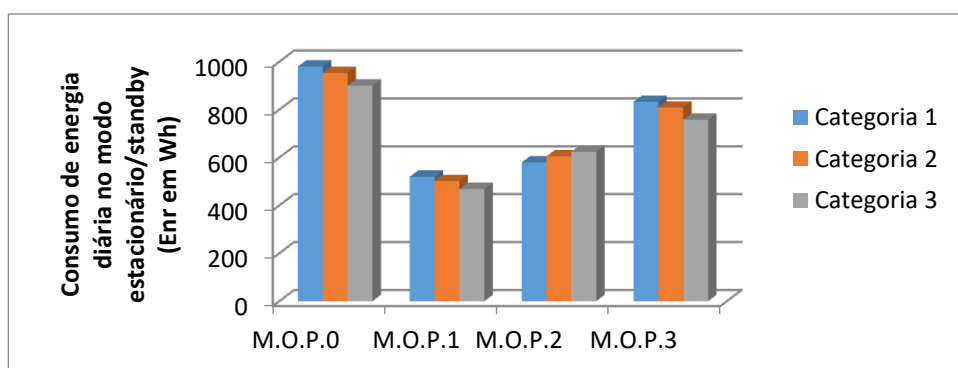


Figura 42-Consumo de energia diária no modo estacionário ou standby para os quatro modos de operação de porta e para as três primeiras categorias de utilização (Enr em Wh)



## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

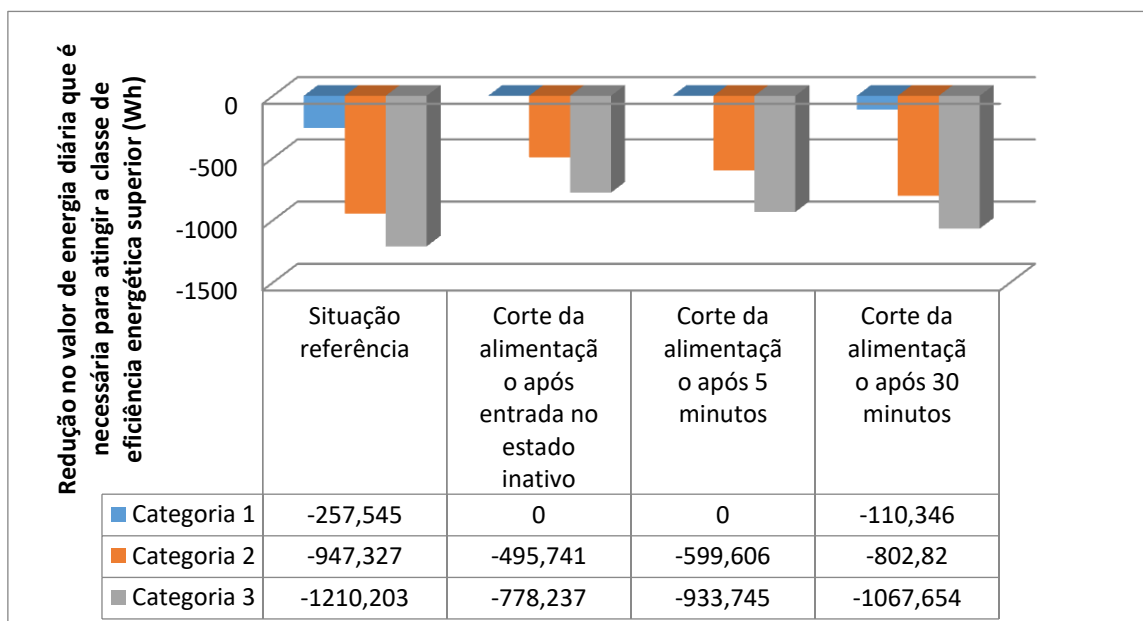


Figura 43- Redução necessária em Ed, para que o elevador atinga a classe de eficiência energética imediatamente superior, tendo como base os quatro modos de operação de porta e as três primeiras categorias de utilização

Numa breve análise à Tabela 43, pode-se retirar:

1. Como é possível verificar, a supressão da energia consumida pelos motores de porta aquando o período inatividade do elevador, permitiu a subida da classe energética do ascensor, apenas para o caso da primeira categoria de utilização, a partir do momento que se considera um sistema de bloqueio de portas a cortar a alimentação dos motores ao fim de 5 minutos de inatividade (M.O.P.2). Neste caso, houve uma progressão da classe B (relativa à situação de referência) para A, sendo esta última, a classe com o melhor desempenho energético existente atualmente para elevadores;
2. Não houve alterações nas classes energéticas para o caso da categoria de utilização 2 e 3, pelo que a utilização de um sistema de bloqueio sem alimentação permanente não conseguiu racionalizar energia suficiente para permitir uma subida de escalão;
3. Para o caso da categoria de utilização 1, a maior percentagem de racionalização de energia  $E_{nr}$ , conseguida face ao Modo de operação referência (M.O.P.0), foi de 46,95 %, para o Modo de operação 1 (M.O.P.1), enquanto que para as categorias de utilização 2 e 3 a percentagem foi de 47,38 % e 47,97 %, respetivamente, para o mesmo Modo de operação;

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

4. Para o caso da categoria de utilização 1, a percentagem de racionalização de energia  $E_{nr}$ , conseguida do Modo de operação referência (M.O.P.0) para o Modo de operação 2 (M.O.P.2), foi de 40,84 % enquanto que para a categoria de utilização 2 e 3, esta percentagem foi de 36,49 % e 30,70 %, respetivamente, para o mesmo Modo de operação;
5. Para o caso da categoria de utilização 1, a percentagem de racionalização de energia  $E_{nr}$ , conseguida do Modo de operação referência (M.O.P.0) para o Modo de operação 3 (M.O.P.3), foi de 15,02 %, enquanto que para as categorias de utilização 2 e 3 a percentagem foi de 15,16 % e 15,83 %, respetivamente, para o mesmo Modo de operação;
6. Realizando a comparação entre as diferentes percentagens de poupança de energia obtidas nos pontos 3, 4 e 5, para o estado estacionário, é possível verificar que, ao contrário do que seria expetável, nem sempre a categoria de utilização menor será aquela para a qual é possível obter maior poupança com a utilização do sistema de bloqueio sem alimentação permanente, como se pode verificar no ponto 3 e 5. A explicação para este tipo de comportamento reside no facto da percentagem de tempo que o elevador passa em cada um dos três modos (*standby*, *standby* 5 minutos e *standby* 30 minutos), para cada categoria de utilização, dada pela Tabela 7, ter um peso considerável na soma da equação de  $E_{nr}$  (equação 2.13);
7. Para a categoria de utilização 1, do Modo de operação 0 para o Modo de operação 1, houve uma redução de 30,18 % na energia diária consumida pelo elevador ( $E_d$ ), enquanto que, para o Modo de operação 2, essa redução foi de 26,26 % e para o Modo de operação 3 atingiu os 9,66 %;
8. Para a categoria de utilização 2, do Modo de operação 0 para o Modo de operação 1, houve uma redução de 19,52 % na energia diária consumida pelo elevador ( $E_d$ ), enquanto que, para o Modo de operação 2, essa redução foi de 15,03 % e para o Modo de operação 3 atingiu os 6,24 %;
9. Já para a categoria de utilização 3, do Modo de operação 0 para o Modo de operação 1, houve uma redução de 10,37 % na energia diária consumida pelo elevador ( $E_d$ ), enquanto que, para o Modo de operação 2, essa redução foi de 6,63 % e para o Modo de operação 3 atingiu os 3,42 %;
10. Como é possível observar, com o aumento da categoria de utilização diminui o potencial de redução do consumo de energia diária associado a um eventual sistema de

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

bloqueio de portas sem alimentação permanente e a classe energética tende também a piorar. A redução deste potencial deve-se principalmente ao facto deste tipo de solução ter maior influência no consumo de energia diária no modo estacionário/standby ( $E_{nr}$  em Wh), sendo que esta mesma vai diminuindo à medida que se aumenta o número de viagens diárias do elevador que tem como consequência o aumento da energia diariamente consumida em viagens  $E_{rd}$ .

No final deste estudo foi possível constatar que existe um considerável potencial de poupança de energia consumida diariamente pelo elevador, subjacente à supressão da energia consumida pelos motores de porta aquando o período de inatividade do mesmo. Para que a racionalização desta energia seja possível é necessário que o operador da porta da cabina esteja dotado de um sistema de atuação mecânica que não obrigue à alimentação permanente do motor de porta em períodos de repouso do elevador. A implementação deste tipo de solução, para o caso deste elevador em específico, tem maior influência do que a solução de otimização do valor de contrapeso, anteriormente estudada, uma vez que consegue diminuir até 30,18 %, 19,52 % e 10,37 % a energia consumida diariamente pelo elevador, para as categorias de utilização 1, 2 e 3, respetivamente, enquanto que a otimização do valor do contrapeso possibilitaria no máximo, uma poupança de 4,47 %, 7,36 % e 9,81 % considerando essas mesmas categorias.

Deve-se sempre procurar orientar as hipóteses de otimização de energia do ascensor, segundo a categoria de utilização do mesmo, pois esta permite ter a noção se deve-se agir sobre o consumo de energia diária no modo estacionário ou *standby*  $E_{nr}$ , ou se na energia diariamente consumida em viagens  $E_{rd}$ . Neste caso, o elevador pertence a uma baixa categoria de utilização, pelo que irá justificar agir preferencialmente sobre a energia consumida no estado estacionário, uma vez que o elevador passará a maior parte do dia em repouso e, como tal, existe maior potencial para a solução aqui estudada.



## **5 Conclusões e linhas futuras de investigação**

Ao longo deste trabalho foi possível analisar de uma forma mais detalhada a metodologia utilizada na norma ISO 25745 para classificar o desempenho energético de elevadores, escadas mecânicas e tapetes rolantes. Após efetuar uma breve introdução ao problema energético e à eficiência energética nos edifícios, abordou-se também a questão de classificação da eficiência energética nos motores elétricos, uma vez que se trata de um componente indispensável ao funcionamento de qualquer tipo de equipamento de transporte vertical. No que diz respeito aos tipos de transporte vertical, elaborou-se uma análise teórica mais detalhada ao caso dos elevadores de tração elétrica e hidráulicos e às escadas mecânicas e tapetes rolantes, procurando simultaneamente abordar os diferentes tipos de tecnologia e sistemas de acionamento utilizados, bem como alguns métodos de variação de velocidade, com especial enfoque na Variação de Velocidade por Variação de Tensão e Frequência.

Num segundo momento deste trabalho, foram realizadas algumas auditorias energéticas com o objetivo de no caso das escadas mecânicas, analisar o comportamento energético de instalações deste tipo e procurar introduzir algumas soluções para promover uma maior eficiência energética destes equipamentos. Juntamente com este estudo, desenvolveu-se uma aplicação informática que permite com base na norma EN 115:1995 (Normas de segurança para a construção e instalação de escadas mecânicas e tapetes rolantes) e na parte 1 e 3 da ISO 25745, realizar a classificação energética de equipamentos que estejam dentro dos limites legais impostos e a respetiva estimativa do seu consumo energético, colmatando a falta de uma aplicação deste tipo, tal como a que foi delineada pelo Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP) para o caso dos elevadores. As capacidades deste simulador, foram testadas para os casos de quatro escadas mecânicas situadas em estações ferroviárias do tipo regional, localizadas no Grande Porto e validadas segundo uma delas, de maneira a permitir o seu uso futuro por parte de técnicos envolvidos no processo de certificação energética.

Já relativamente ao caso dos elevadores, foi conduzida uma breve análise a uma base de dados com 145 relatórios de certificações energéticas realizadas em diversos equipamentos situados em locais de serviço público e pertencentes às quatro primeiras categorias de utilização. Desta investigação resultou que a grande maioria dos equipamentos de elevação

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

(48,3 %), independentemente de pertencerem à tecnologia hidráulica ou de tração elétrica, estavam classificados com a classe de desempenho energético D, quando atualmente a classe mínima para elevadores novos a ser instalados, desde 31 de dezembro de 2015, segundo a Portaria 17-A/2016 de 4 de fevereiro, é a classe B. Da mesma forma, também foi possível verificar que os elevadores da tecnologia de tração elétrica têm maior probabilidade de estar classificados com classes de eficiência energética mais altas do que os do tipo hidráulico, pelo que 70,8 % dos elevadores do tipo hidráulico pertenciam à classe D, enquanto que 58,5 % dos do tipo tração elétrica, pertenciam à classe C. Atendendo a isto, apenas 6,9 % dos elevadores envolvidos neste estudo, poderiam ser instalados na atualidade, o que confere importância ao problema da eficiência energética nos elevadores e induz a possíveis ações futuras que permitam realizar um progresso no seu desempenho energético. Antes de promover ações complexas, importa compreender o efeito que alguns componentes básicos e menos eficientes num elevador, podem ter na sua classificação energética, de forma a analisar o peso que cada medida de aperfeiçoamento dos mesmos, pode ter na melhoria da eficiência energética e conseguir, de uma forma sustentável, promover a classe de eficiência energética sem comprometer o interesse económico. Assim sendo, procurou-se, recorrendo a um trabalho de campo, submeter sete elevadores aos seguintes testes de hipóteses de otimização energética, já propostas anteriormente por outros autores, mas cujo estudo científico se baseava fundamentalmente em modelos teóricos:

1. Hipótese de otimização do peso do contrapeso para cargas mais pequenas, sugerida por Jacinto Ferreira e Miguel Franco num artigo técnico para a Revista Técnico-Científica Neutro à Terra em 2010, recorrendo a uma auditoria energética realizada num elevador de tração elétrica de 300 kg de carga nominal, com um contrapeso dimensionado para 65 % da carga nominal (195 kg), e para o qual foram realizados dois cenários com valores de contrapeso de 48,5 % e 38,1 %;
2. Hipótese de substituição de um sistema de iluminação ineficiente, por um sistema de iluminação moderno, recorrendo-se para esta análise, às dimensões de seis cabinas de elevadores do Centro Hospitalar do Porto, pertencentes a uma base de dados com cerca de 145 certificações energéticas e procurando dimensionar um sistema de iluminação do tipo LED, que cumprisse o nível mínimo de iluminância de 100 lux, segundo a norma EN 81-20, para elevadores novos, bem como outros requisitos de qualidade,

### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

compreendendo o impacto na classificação energética do equipamento, bem como o interesse económico que este investimento pode ter num período de 15 anos;

3. Estudo do impacto dos operadores de porta, no consumo de energia do ascensor, explorando o mesmo elevador utilizado no estudo da hipótese de otimização do peso do contrapeso, para analisar o comportamento energético dos seus operadores de porta e do respetivo sistema de abertura do tipo lâmina, de maneira a refletir acerca de aspetos relacionados com a sua ineficiência, com especial atenção ao impacto que a alimentação permanente do motor de porta tem para o desempenho energético do elevador, quando o mesmo se encontra num estado estacionário.

As três hipóteses consideradas procuraram incidir, quer sobre formas de melhorar a eficiência energética nos ascensores pela supressão de parte do consumo energético quando o mesmo se encontra num estado estacionário, como é o caso do estudo do impacto da alimentação permanente do operador de porta quando o elevador está em repouso e o estudo de otimização do sistema de iluminação, quer por um estudo orientado para a diminuição do consumo energético do elevador de tração elétrica em viagem, através da otimização do valor do contrapeso tendo em conta a categoria de utilização.

No final, os resultados obtidos revelaram-se bastante interessantes no que faz referência à otimização energética do elevador, pelo que inicialmente poderia prever-se que as hipóteses estudadas tratavam-se de conjecturas que aparentavam ter pouca influência e uma aptidão limitada.

Assim, do estudo de otimização do contrapeso realizado, foi possível obter as seguintes conclusões:

1. A redução do contrapeso de 65 % para 38,1 %, foi a hipótese mais vantajosa para todas as três categorias de utilização estudadas, ajudando a suprimir, segundo a parte 2 da ISO 25745, 4,47 % do consumo de energia total diária do elevador para a primeira categoria, 7,36 % para a segunda categoria e 9,81 % para a terceira categoria. Segundo estes valores, pode-se afirmar que o potencial de poupança de energia subjacente à hipótese de otimização do valor do contrapeso é tanto maior quanto maior for a categoria de utilização diária do ascensor, uma vez que esta solução afeta apenas o consumo do elevador em viagem.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

2. No geral, as alterações efetuadas no peso do contrapeso, apesar de conduzirem a uma maior racionalização energética para o caso do elevador em manobra, não foram suficientes para contribuir para uma promoção de classe energética do elevador em estudo para as três primeiras categorias de utilização;
3. Em novos ascensores fará sentido estudar ao pormenor o perfil de utilização dos edifícios onde os mesmos serão instalados para dimensionamento do valor do contrapeso para uma carga o mais próxima possível da média real e evitar um sobredimensionamento do sistema, que obrigará a um consumo desnecessário de energia. No caso do elevador estudado, o teste do balanceamento do contrapeso para 38,1 % da carga nominal sugere que, numa capacidade total de 300 kg, o elevador esteja preparado para receber uma carga o mais próxima possível de 114,3 kg. Deve-se considerar que este dimensionamento deve ser feito tendo em conta que o elevador nem sempre viaja com carga, necessitando muitas das vezes de efetuar viagens em vazio para efetuar a recolha de passageiros;
4. A hipótese de otimização de contrapeso deve ser analisada também fora do âmbito da ISO 25745, através da realização de testes em ascensores de tração elétrica, devendo-se no entanto também ter em atenção a influência que este tipo de alterações de massa de contrapeso possa ter sobre as máquinas de acionamento e na aderência dos cabos de suspensão.

Quanto à hipótese de melhorar a eficiência energética nos ascensores através da adoção de um sistema de iluminação mais eficiente do tipo LED em detrimento do sistema que utiliza lâmpadas do tipo fluorescente, verificou-se que levando em consideração os requisitos de iluminância mínimos da norma EN 81-20 e os valores de uniformidade da ISO 8995-1 de 2002, no final, para as seis amostras de elevadores estudados, esta ação permitiu obter as seguintes conclusões:

1. Houve uma redução do consumo anual de energia de 92,5 %, apenas na componente de iluminação de cada elevador;
2. A energia consumida pelo novo sistema de iluminação, permitiu reduzir em 21,49 % o consumo total de energia dos elevadores,  $E_d$ , face à situação atual, permitindo a promoção de classe energética em metade dos elevadores;



### **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

3. Quanto à viabilidade económica deste investimento e perante um horizonte temporal de 15 anos, este revelou-se bastante atrativo, visto que apresentou um valor atual líquido positivo de 8742 € e a uma taxa de rentabilidade superior à taxa de desconto considerada;

4. Em elevadores novos e existentes, o sistema de iluminação deve estar bem dimensionado e deve ter em consideração a utilização de tecnologias mais eficientes, pois esta componente de iluminação, por vezes, pode ter um peso considerável na classificação energética do elevador, sendo que esta influência deverá ser maior para o caso de cabinas de grandes dimensões e sem temporização de luz de cabina.

Por último, quanto à análise efetuada ao problema da alimentação permanente do motor de porta do tipo lâmina, na situação em que o elevador se encontra num estado estacionário, conseguiu-se apurar que:

1. Com o aumento da categoria de utilização, diminui o potencial de redução do consumo de energia diária associado à supressão da energia consumida pelo motor da porta do elevador quando este está em repouso. Isto acontece devido ao facto de o aumento da categoria de utilização significar um menor tempo e consumo de energia diária no modo estacionário ou *standby* ( $t_{nr}$  e  $E_{nr}$ );
2. A maior poupança atingida para a energia diária consumida pelo elevador ( $E_d$ ) foi de 30,18 %, 19,52 % e 10,37 % para os casos em que o elevador pertence às categorias de utilização 1, 2 e 3, respetivamente, e o seu motor de porta deixa de ser alimentado mal o elevador entre no estado *standby*;
3. A implementação deste tipo de solução para elevadores de baixa categoria de utilização tem maior influência do que a solução de otimização do valor de contrapeso.

Como considerações finais, importa reter que o estudo realizado focou-se essencialmente numa análise para as três primeiras categorias de utilização, pelo que foi possível apurar que para este tipo de elevadores, numa perspetiva de diminuição da energia diariamente consumida pelo mesmo e de promoção da sua classe energética, é mais vantajoso incidir sobre a diminuição do consumo de energia *standby* do elevador, do que da energia consumida em viagem. Porém, no caso do estudo do valor de contrapeso aqui abordado, esta melhoria não envolve um investimento direto para a promoção da eficiência energética do elevador (envolve apenas a retirada de massa ao contrapeso), pelo que o valor da energia que se consiga suprimir em viagem, será sempre uma melhoria.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

Como linhas futuras de investigação, considera-se que um contributo para o aumento da eficiência energética nos ascensores, poderá ser:

1. A elaboração futura de um estudo mais aprofundado à questão do dimensionamento do contrapeso para elevadores de tração elétrica, recorrendo a uma análise com amostras mais diversificadas de elevadores (principalmente de diferentes cargas nominais e categorias de utilização superiores), por maneira a compreender de uma forma mais prática a influência deste tipo de alterações na classificação energética;
2. Estudar a importância da manutenção periódica dos elevadores e da contínua lubrificação das guias de cabina, contrapeso e restantes peças móveis, no consumo de energia do equipamento e analisar a sua influência na classe de eficiência energética do elevador;
3. Explorar de que forma o estado dos cabos de suspensão, as afinações das portas de patamar, as condições do operador de porta, o comportamento das roçadeiras e rodas da cabina, desde a sua instalação até ao fim dos primeiros meses de funcionamento do equipamento, têm impacto no consumo de energia do elevador e na sua classificação energética;
4. No que diz respeito à iluminação das cabinas, sugere-se que seja realizado um estudo profundo, a todos os restantes elevadores da unidade hospitalar que não estiveram envolvidos no estudo aqui realizado, pois apenas nos seis elevadores estudados deste local verificou-se um grande potencial de poupança energética, motivado por um fraco dimensionamento do sistema de iluminação atual e a uma grande falta de eficiência em grande parte das luminárias utilizadas;
5. Devem ser estudadas novas formas de conseguir alterar os antigos sistemas de abertura de portas de cabina com motor permanentemente alimentado, de maneira a que se consiga suprimir o consumo de energia dos motores de porta quando o elevador se encontra em repouso e desta forma promover um aumento do desempenho energético global do ascensor.
6. Devem-se continuar a desenvolver estudos com o intuito de procurar novas formas para diminuir a energia total consumida pelos elevadores quer pela utilização dos novos sistemas de produção de energia do tipo renovável, quer pelo aproveitamento de energia associada à travagem do motor.

## **Referências bibliográficas**

- [1] Siemens, “Building automation – impact on energy efficiency.,” Siemens.
- [2] M. F. Alves, ABC DAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS, Porto: Isep, 2003.
- [3] J. F. Fuchsloch, W. R. Finley e R. W. Walter, “The next generation motor-designing a new approach to improve the energy efficiency of NEMA Premium motors,” *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 14, n.º 1, 2008.
- [4] J. A. B. Carvalho, “Eficiência Energética em Equipamentos de Força-Motriz,” *Neutro à Terra*, Dezembro 2016.
- [5] J. Pratas, “Economia de Energia com Eficiência nos Accionamentos Eficientes,” SEW-EURODRIVE Portugal, 2016. [Online]. Available: [http://ave.dee.isep.ipp.pt/~see/jornadas2010/Jornadas/images/Pdf/SEW\\_JoaoPratas.pdf](http://ave.dee.isep.ipp.pt/~see/jornadas2010/Jornadas/images/Pdf/SEW_JoaoPratas.pdf). [Acedido em 05 07 2017].
- [6] ABB, “IEC 60034-30 standard on efficiency classes for low voltage AC motors,” ABB, 2009. [Online]. Available: <http://www.eldvigateli.com/images/pdf/IE2-IEC-60034-30.pdf>.
- [7] R. S. C. George R. Strakosch, *The Vertical Transportation Handbook*, John Wiley & Sons, 2010.
- [8] “Decreto-Lei nº 176/2008 de 26 de agosto – Transposição parcial para a ordem interna a Directiva nº 2006/42/CE de 17 de maio, relativa às máquinas e que altera a Directiva nº 95/16/CE de 29 de junho,” *Diário da República*, 2008.
- [9] Almeida, “E4 Energy Efficient Elevators and Escalators,” Universidade de Coimbra, 2010.
- [10] New World Encyclopedia, “Escalator,” 2013. [Online]. Available: <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Escalator>. [Acedido em 28 05 2017].
- [11] J. Leitão, “Comparação entre Ascensores Eléctricos e Ascensores Hidráulicos MRL,” *Elevare*, 2014.
- [12] ELECTRICAL KNOWHOW, “ELECTRICAL KNOWHOW,” [Online]. Available: <http://www.electrical-knowhow.com/2012/04/elevators-types-and-classification-part.html>. [Acedido em 17 07 2017].
- [13] EN 81-20-Safety rules for the construction and installation of lifts – Lifts for the transport of persons and goods – Part 20: Passenger and goods passenger lifts, CEN (European Committee for Standardization).
- [14] J. P. C. Bergamim, “Princípio de Pascal em um Experimento Auto-explicativo,” Unicamp, Campinas, 2007.
- [15] T. Harris, “Howstuffworks,” [Online]. Available: <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/elevator1.htm>. [Acedido em 18 07 2017].
- [16] Z. McCain, *Elevators 101*, Elevator World, 2004.

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

- [17] T. R. d. A. Pires, Eficiência energética de transporte vertical, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [18] A. E. Fitzgerald, J. Charles Kingsley e S. D. Umans, Electric Machinery, Nova Iorque: McGraw Hill., 2003.
- [19] J. A. B. Carvalho, Máquinas Assíncronas de Indução, Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2008.
- [20] M. L. Franco, “Elevadores-A evolução da máquina elétrica,” *Neutro à Terra*, p. 45, 2011.
- [21] M. L. Franco, Melhoria da Eficiência Energética nos Ascensores: a Recuperação de Energia, Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- [22] “Decreto-Lei n.º163/2006 – Regime da Acessibilidade aos Edifícios e Estabelecimentos que Recebem Público, Via Pública e Edifícios Habitacionais,” *Diário da República*, 2006.
- [23] SENAI, Técnicas de Controle-Soft-Starters e Inversores, 2012.
- [24] I. BSNL, “E1-E2/Electrical,” 01 04 2011. [Online]. Available: <http://www.energyland.emsd.gov.hk/en/appAndEquip/equipment/lifts/vvvf.html>. [Acedido em 08 07 2017].
- [25] F. Kreith e D. Goswami, Energy Management and Conservation Handbook, Second Edition, Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [26] “Portaria 17-A/2016 de 4 de fevereiro-Alteração à Portaria n.º 349 -D/2013, de 2 de dezembro,” *Diário da República*, 2016.
- [27] “Portaria 349-D/2013 de 2 de dezembro (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) - Requisitos de Conceção para Edifícios Novos e Intervenções),” *Diário da República*, 2013.
- [28] ISO 25745-2:2015-Energy performance of lifts, escalators and moving walks-Part 2:Energy calculation and classification for lifts (elevators), International Organization for Standardization, 2015.
- [29] ISO 25745-3:2015-Energy performance of lifts, escalators and moving walks-Part 3:Energy calculation and classification of escalators and moving walks, International Organization for Standardization, 2015.
- [30] E. R. d. S. Energéticos, Despacho n.º 7253/2010, *Diário da República*, 2010.
- [31] M. L. F. José Jacinto Ferreira, “OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM NOVOS ASCENSORES,” *Neutro à Terra*, 2010.
- [32] I. O. f. Standardization, ISO 8995-1:2002-Lighting of work places- Part 1: Indoor, International Organization for Standardization, 2002.
- [33] J. A. M. S. R. R. B. R. M. A. D. M. e. L. T. M. Carlos A. Marques Pinto, Fundamentos de Gestão, Editorial Presença, 2012.
- [34] A. o. d. coisas, “A origem das coisas,” [Online]. Available: <http://origemdascoisas.com/a-origem-do-elevador/>. [Acedido em 8 6 2017].

## **Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

- [35] A. T. d. Almeida, F. J. T. E. Ferreira, J. Fong e P. Fonseca, “EUP Lot 11 Motors,” Universidade de Coimbra, Coimbra, 2008.
- [36] J. Malinowski, J. Cormick e K. Dunn, “Advances in construction techniques of AC induction motors preparation for super-premium efficiency levels,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 40, n.º 6, 22 Novembro 2004.
- [37] B. Salvador, “Siemens: novas classes de eficiência para motores de baixa tensão trifásico (IE),” *O electricista*, vol. 31, 2015.
- [38] S. Brambley, “GAMBICA REMA Guide to Selection of Efficient Motors and Controls,” Julho 2010. [Online]. Available: [http://www.brookcrompton.com/upload/files/literature/GAMBICA\\_REMA\\_Guide\\_to\\_Selection\\_of\\_Efficient\\_Motors\\_and\\_Controls.pdf](http://www.brookcrompton.com/upload/files/literature/GAMBICA_REMA_Guide_to_Selection_of_Efficient_Motors_and_Controls.pdf). [Acedido em 08 07 2017].
- [39] C. M. Franchi, *Acionamentos Eléctricos*, São Paulo: Érica, 2007.
- [40] L. Hutt, D. Vollrath e C. Carey, “Modern VVVF Drives,” *Elevator World*, Fevereiro 2010.
- [41] W. d. L. Pires, *Guia Técnico-Motores de indução alimentados por conversores de frequência PWM*, Weg Equipamentos Eléctricos S.A. – Divisão Motores, 2006.
- [42] L. Alter, “treehugger,” 23 03 2017. [Online]. Available: <https://www.treehugger.com/green-architecture/happy-160th-birthday-worlds-first-passenger-elevator.html>. [Acedido em 17 07 2017].
- [43] Team mpag.in, “mpag.in,” 1 03 2017. [Online]. Available: <http://www.mpag.in/2017/03/01/story-behind-escalator-invention-history/>. [Acedido em 17 07 2017].
- [44] M. Young, “untappedcities,” 23 12 2015. [Online]. Available: <http://untappedcities.com/2015/12/23/cities-101-the-first-working-escalator-was-installed-in-coney-island-brooklyn/>. [Acedido em 17 07 2017].
- [45] I. Monk, “fineartamerica,” 13 03 2014. [Online]. Available: <https://fineartamerica.com/featured/seeberger-escalator-patent-art-1899-ian-monk.html>. [Acedido em 17 07 2017].
- [46] F. M. Dias, “Dossier automação e componentes para elevadores,” *Elevare*, Julho 2016.
- [47] Hans Jungblut, “Hans Jungblut,” 2016. [Online]. Available: <http://www.jungblut.de/294/Technical-Information.htm>. [Acedido em 17 07 2017].
- [48] NP EN 81-1:2000 de fevereiro – Regras de Segurança para o Fabrico e Instalação de Elevadores – Parte 1: Ascensores Eléctricos, Instituto Português da Qualidade, 2001.
- [49] Norma Alemã VDI 4707:2009 – Ascensores – Eficiência Energética (2009), Verein Deutscher Ingenieure, 2009.
- [50] ISO 25745-1:2012-Energy performance of lifts, escalators and moving walks-Part 1:Energy measurement and verification, International Organization for Standardization, 2012.

**Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

---

- [51] IEC 60034-30:2008 – Rotating electrical machines- Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code), International Electrotechnical Committee, 2008.
- [52] IEC 60034-2-1:2007-Rotating electrical machines - Part 2-1:Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), International Electrotechnical Committee, 2007.
- [53] “Decreto-Lei 47/2015-Alteração ao Decreto-Lei n.º 223/2000, de 9 de setembro, que criou a Agência para a Energia (ADENE).,” *Diário da República*, 2015.
- [54] “Decreto-Lei n.º 223/2000, de 9 de setembro- Transforma o Centro para a Conservação da Energia na Agência para a Energia.,” *Diário da República*, 2000.
- [55] “Decreto-Lei n.º 314/2001, de 10 de dezembro- Altera o Decreto-Lei nº 223/2000, de 9 de setembro, que criou a Agência para a Energia.,” *Diário da República*, 2001.
- [56] “Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de agosto-Regulamento geral das edificações urbanas (RGEU),” *Diário da República*, 1951.
- [57] “Decreto-Lei n.º118/2013, de 20 de agosto - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE),” *Diário da República*, 2013.

# Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

## Anexos

### Anexo 1

Definição das Classes de eficiência segundo a IEC 60034-30 (2008) [6]

kW	HP	IE-1 - Standard efficiency						IE2 - High efficiency						IE3 - Premium efficiency					
		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole	
0.75	1	72.1	77.0	72.1	78.0	70.0	73.0	77.4	75.5	79.6	82.5	75.9	80.0	80.7	77.0	82.5	85.5	78.9	82.5
1.1	1.5	75.0	78.5	75.0	79.0	72.9	75.0	79.6	82.5	81.4	84.0	78.1	85.5	82.7	84.0	84.1	86.5	81.0	87.5
1.5	2	77.2	81.0	77.2	81.5	75.2	77.0	81.3	84.0	82.8	84.0	79.8	86.5	84.2	85.5	85.3	86.5	82.5	88.5
2.2	3	79.7	81.5	79.7	83.0	77.7	78.5	83.2	85.5	84.3	87.5	81.8	87.5	85.9	86.5	86.7	89.5	84.3	89.5
3	4	81.5	-	81.5	-	79.7	-	84.6	-	85.5	-	83.3	-	87.1	-	87.7	-	85.6	-
3.7	5	-	84.5	-	85.0	-	83.5	-	87.5	-	87.5	-	87.5	-	88.5	-	89.5	-	89.5
4	5.5	83.1	-	83.1	-	81.4	-	85.8	-	86.6	-	84.6	-	88.1	-	88.6	-	86.8	-
5.5	7.5	84.7	86.0	84.7	87.0	83.1	85.0	87.0	88.5	87.7	89.5	86.0	89.5	89.2	89.5	89.6	91.7	88.0	91.0
7.5	10	86.0	87.5	86.0	87.5	84.7	86.0	88.1	89.5	88.7	89.5	87.2	89.5	90.1	90.2	90.4	91.7	89.1	91.0
11	15	87.6	87.5	87.6	88.5	86.4	89.0	89.4	90.2	89.8	91.0	88.7	90.2	91.2	91.0	91.4	92.4	90.3	91.7
15	20	88.7	88.5	88.7	89.5	87.7	89.5	90.3	90.2	90.6	91.0	89.7	90.2	91.9	91.0	92.1	93.0	91.2	91.7
18.5	25	89.3	89.5	89.3	90.5	88.6	90.2	90.9	91.0	91.2	92.4	90.4	91.7	92.4	91.7	92.6	93.6	91.7	93.0
22	30	89.9	89.5	89.9	91.0	89.2	91.0	91.3	91.0	91.6	92.4	90.9	91.7	92.7	91.7	93.0	93.6	92.2	93.0
30	40	90.7	90.2	90.7	91.7	90.2	91.7	92.0	91.7	92.3	93.0	91.7	93.0	93.3	92.4	93.6	94.1	92.9	94.1
37	50	91.2	91.5	91.2	92.4	90.8	91.7	92.5	92.4	92.7	93.0	92.2	93.0	93.7	93.0	93.9	94.5	93.3	94.1
45	60	91.7	91.7	91.7	93.0	91.4	91.7	92.9	93.0	93.1	93.6	92.7	93.6	94.0	93.6	94.2	95.0	93.7	94.5
55	75	92.1	92.4	92.1	93.0	91.9	92.1	93.2	93.0	93.5	94.1	93.1	93.6	94.3	93.6	94.6	95.4	94.1	94.5
75	100	92.7	93.0	92.7	93.2	92.6	93.0	93.8	93.6	94.0	94.5	93.7	94.1	94.7	94.1	95.0	95.4	94.6	95.0
90	125	93.0	93.0	93.0	93.2	92.9	93.0	94.1	94.5	94.2	94.5	94.0	94.1	95.0	95.0	95.2	95.4	94.9	95.0
110	150	93.3	93.0	93.3	93.5	93.3	94.1	94.3	94.5	94.5	95.0	94.3	95.0	95.2	95.0	95.4	95.8	95.1	95.8
132	185	93.5	-	93.5	-	93.5	-	94.6	-	94.7	-	94.6	-	95.4	-	95.6	-	95.4	-
150	200	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.0	-	95.0	-	95.0	-	95.4	-	96.2	-	95.8
160	-	93.8	-	93.8	-	93.8	-	94.8	-	94.9	-	94.8	-	95.6	-	95.8	-	95.6	-
185	250	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.4	-	95.4	-	95.0	-	95.8	-	96.2	-	95.8
200	-	94.0	-	94.0	-	94.0	-	95.0	-	95.1	-	95.0	-	95.8	-	96.0	-	95.8	-
220	300	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
250	350	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
300	400	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
330	450	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
375	500	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.8	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8

### Anexo 2

Abrangência da IE 60034-30 (2008) [4]

Estão abrangidos pela IEC 60034-30	Não estão abrangidos pela IEC 60034-30
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Motores de velocidade simples, trifásicos, de 50 e 60 Hz</li> <li>-Motores de 2, 4 ou 6 polos</li> <li>-Motores com potencia nominal entre 0,75 - 375 kW</li> <li>-Motores de tensão nominal até 1000 V</li> <li>-Motores do tipo Duty S1(com funcionamento em continuo) ou S3 ( com funcionamento intermitente ou periódico) com um fator de duração cíclica nominal de 80 % ou superior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Motores exclusivamente para funcionamento como conversores</li> <li>-Motores exclusivamente para funcionamento imerso em líquido</li> <li>-Motores totalmente integrados em maquinas que não podem ser testados separadamente da maquina (exemplo, das bombas, ventiladores ou compressores).</li> <li>-Motores instalados e locais onde as temperaturas do ar possam ultrapassar os 40 °C.</li> <li>-Em temperaturas máximas superiores a 400 °C</li> <li>-Onde a temperatura ambiente for inferior a -15 °C (para qualquer motor) ou inferior a 0 °C (motores refrigerados a ar).</li> </ul>

## Anexo 3

### Resultados da Escada 3 (Escada no sentido descendente)

Dados da instalação	
Local de Instalação	Estação Ferroviária
Tipo de instalação	Escada mecânica
Sentido de funcionamento do equipamento	Descendente
Altura	7,695 m
Inclinação	30°
Largura de degrau	800 mm
Velocidade nominal	0,5 m/s
Velocidade baixa	0,2 m/s
Nº diário de passageiros	6750 passageiros/dia (obtido por medição)
Potência da máquina de tração	12 kW

Modo de operação	Potência no sentido normal de funcionamento do equipamento (descendente) (kW)
Normal sem carga (ao fim de 3 voltas)	2,410 kW
Standby	70 W
Auto Start	0 W
Slow Speed	1,220 kW

### Resultados da Escada 4 (Escada no sentido ascendente)

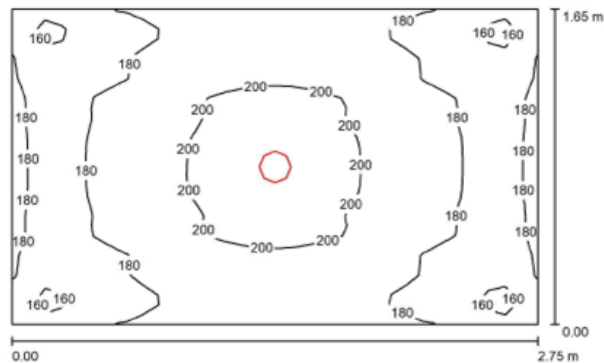
Dados da instalação	
Local de Instalação	Estação Ferroviária
Tipo de instalação	Escada mecânica
Sentido de funcionamento do equipamento	Ascendente
Altura	7,695 m
Inclinação	30°
Largura de degrau	800 mm
Velocidade nominal	0,5 m/s
Velocidade baixa	0,2 m/s
Nº diário de passageiros	6750 passageiros/dia (obtido por medição)
Potência da máquina de tração	12 kW

Modo de operação	Potência no sentido normal de funcionamento do equipamento (ascendente) (kW)
Normal sem carga (ao fim de 3 voltas)	2,376 kW
Standby	70 W
Auto Start	0 W
Slow Speed	1,120 kW



## Anexo 4 (Resultados para a simulação Dialux dos 6 elevadores)

### Elevador 1 e 2 / Resumo



Altura da sala: 2.140 m, Altura de montagem: 2.166 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:22

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	185	148	207	0.799
Solo	80	185	153	207	0.828
Tecto	85	142	113	159	0.793
Paredes (4)	80	174	114	275	/

#### Plano de uso:

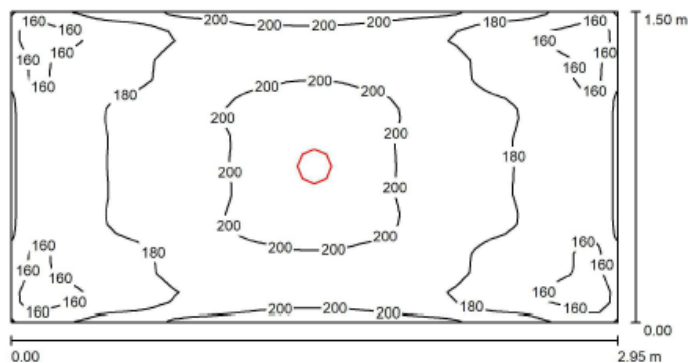
Altura: 0.000 m  
Grelha: 32 x 32 Pontos  
Zona marginal: 0.000 m

#### Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correção)	$\Phi$ (Luminária) [lm]	$\Phi$ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1	PHILIPS DN135B D165 1xLED10S/840 (1.000)	1000	1000	13.0
Total:			1000	1000	13.0

Potência específica:  $2.87 \text{ W/m}^2 = 1.55 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Superfície básica:  $4.54 \text{ m}^2$ )

### Elevador 3 / Resumo



Altura da sala: 2.140 m, Altura de montagem: 2.166 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:22

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	184	146	221	0.793
Solo	80	184	147	216	0.801
Tecto	85	143	115	161	0.805
Paredes (4)	80	174	113	305	/

#### Plano de uso:

Altura: 0.000 m  
Grelha: 64 x 32 Pontos  
Zona marginal: 0.000 m

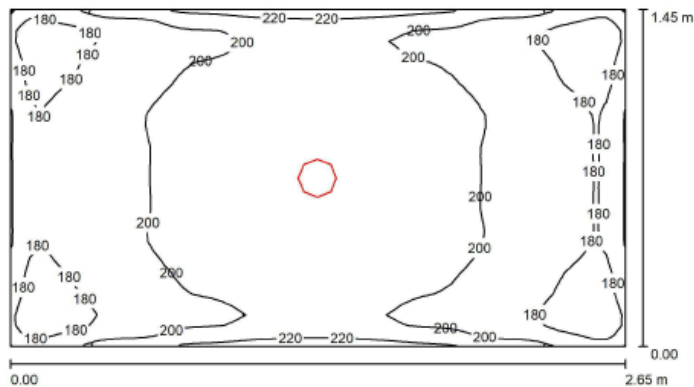
#### Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correção)	$\Phi$ (Luminária) [lm]	$\Phi$ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1	PHILIPS DN135B D165 1xLED10S/840 (1.000)	1000	1000	13.0
Total:			1000	1000	13.0

Potência específica:  $2.94 \text{ W/m}^2 = 1.60 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Superfície básica:  $4.42 \text{ m}^2$ )

## Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética

### Elevador 4 / Resumo



Altura da sala: 2.140 m, Altura de montagem: 2.166 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:19

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	198	162	233	0.815
Solo	80	198	161	233	0.814
Tecto	85	157	128	174	0.816
Paredes (4)	80	191	124	326	/

#### Plano de uso:

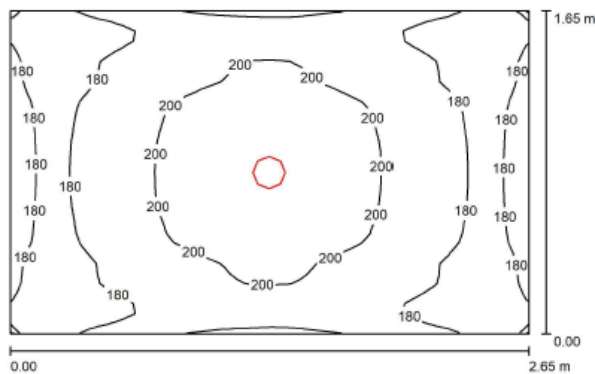
Altura: 0.000 m  
Grelha: 64 x 32 Pontos  
Zona marginal: 0.000 m

#### Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correção)	$\Phi$ (Luminária) [lm]	$\Phi$ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1	PHILIPS DN135B D165 1xLED10S/840 (1.000)	1000	1000	13.0
Total:			1000	1000	13.0

Potência específica:  $3.38 \text{ W/m}^2 = 1.71 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Superfície básica:  $3.84 \text{ m}^2$ )

### Elevador 5 / Resumo



Altura da sala: 2.140 m, Altura de montagem: 2.166 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:22

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	189	153	211	0.806
Solo	80	189	155	211	0.819
Tecto	85	146	116	161	0.797
Paredes (4)	80	179	116	279	/

#### Plano de uso:

Altura: 0.000 m  
Grelha: 32 x 32 Pontos  
Zona marginal: 0.000 m

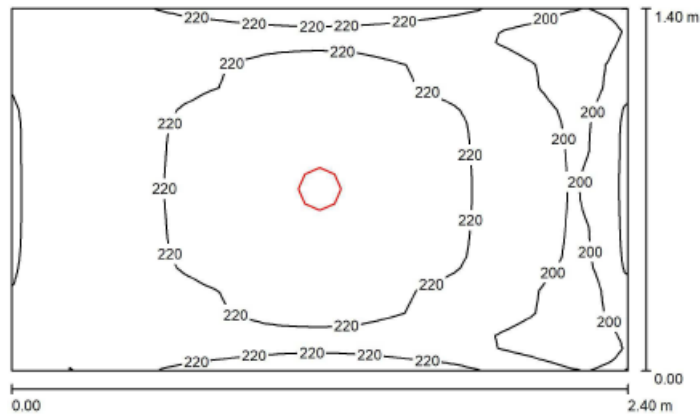
#### Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correção)	$\Phi$ (Luminária) [lm]	$\Phi$ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1	PHILIPS DN135B D165 1xLED10S/840 (1.000)	1000	1000	13.0
Total:			1000	1000	13.0

Potência específica:  $2.97 \text{ W/m}^2 = 1.57 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Superfície básica:  $4.37 \text{ m}^2$ )

**Análise de metodologias de cálculo do desempenho energético de ascensores e escadas mecânicas e ações que promovam melhorias na sua classe energética**

**Elevador 6 / Resumo**



Altura da sala: 2.140 m, Altura de montagem: 2.166 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:18

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	214	176	235	0.824
Solo	80	214	178	234	0.833
Tecto	85	173	149	191	0.863
Paredes (4)	80	210	139	355	/

**Plano de uso:**

Altura: 0.000 m  
Grelha: 32 x 32 Pontos  
Zona marginal: 0.000 m

**Lista de luminárias**

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correção)	$\Phi$ (Luminária) [lm]	$\Phi$ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	1	PHILIPS DN135B D165 1xLED10S/840 (1.000)	1000	1000	13.0
Total:			1000	1000	13.0

Potência específica:  $3.87 \text{ W/m}^2 = 1.81 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Superfície básica:  $3.36 \text{ m}^2$ )